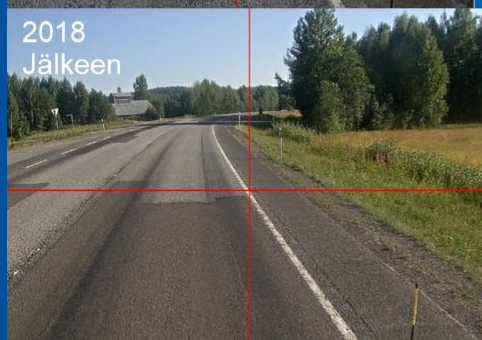
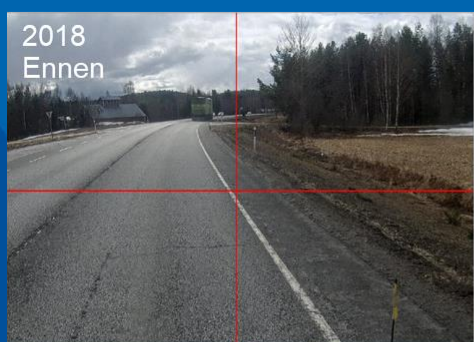
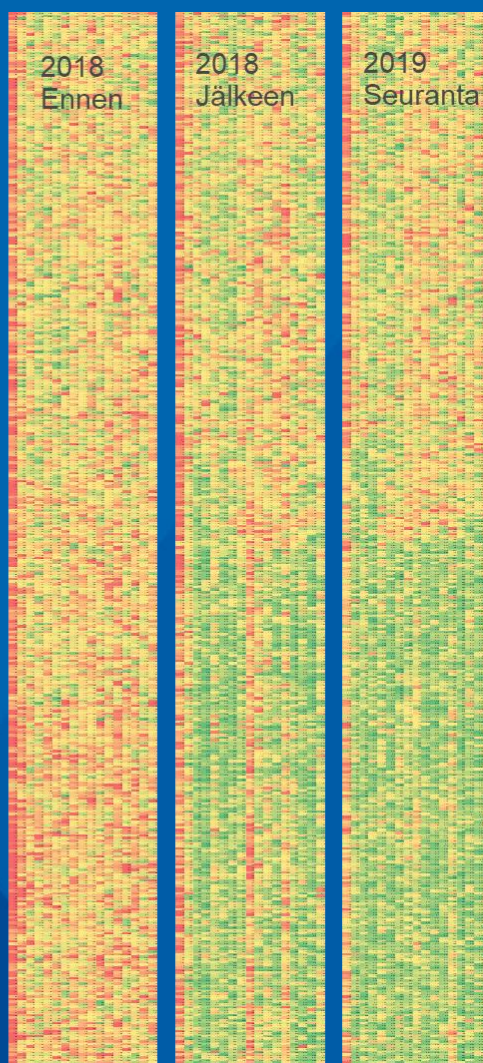


PTM-KARKEUSTIEDON HYÖDYNTÄMINEN TOIMENPIDESUUNNITTELUSSA



MPD-asteikko	
0.4	
1.2	
2.4	



Eeva Huuskonen-Snicker, Markus Simonen,
Pertti Virtala, Pauli Alanaatu

PTM-karkeustiedon hyödyntäminen toimenpidesuunnittelussa

Väyläviraston tutkimuksia 22/2019

Kannen kuva: Eeva Huuskonen-Snicker

Verkkojulkaisu pdf (www.vayla.fi)

ISSN 2490-0982

ISBN 978-952-317-746-8

Väylävirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puh. 0295 34 3000

Eeva Huuskonen-Snicker, Markus Simonen, Pertti Virtala ja Pauli Alanaatu: PTM-karkeustiedon hyödyntäminen toimenpidesuunnittelussa. Väylävirasto. Helsinki 2019. Väyläviraston tutkimuksia 22/2019. 40 sivua. ISSN 2490-0982, ISBN 978-952-317-746-8.

Avainsanat: Päälyste, makrokarkeus, REM-uusiopinta, sirotepinta, valuasfalttipaikka

Tiivistelmä

Tässä työssä tarkasteltiin ja kehitettiin menetelmiä PTM-mittauksen yhteydessä saatavan karkeustiedon hyödyntämiseksi vanhojen päälysteiden toimenpidesuunnittelun lähtötietona. Tarkasteltu päälysteen makrokarkeustieto tuotettiin Destian kehittämällä mittausmenetelmällä, jossa makrokarkeus (MPD) voidaan määrittää koko poikkiprofiilin leveydeltä hyödyntäen 17 mittauslinjasta tuotettua tietoa 10 cm välein. Työssä kehitettiin menetelmät REM-kohteiden valuasfalttipaikkojen jyrksintämäärien laskentaan ja sirotepintauksen (SIP) kohdistukseen pinnan karkeustiedon perusteella. Lisäksi työssä tarkasteltiin pinnan karkeuden kehitystä ennen toimenpidettä ja sen jälkeen REM-, SIP- ja takuun alaisilla päälystyskohteilla.

Valuasfalttipaikkojen pinta-alojen laskentaan kehitettiin yksinkertainen laskenta-algoritmi, jossa päälysteen pinnan karkeuden perusteella sileimmät kohdat luokitellaan valuasfaltiksi ja niiden pinta-ala lasketaan halutulle raportointivälille. Laskenta-algoritmia testattiin kahden eri päälystetyyppiä olevan tieosan avulla, minkä perusteella laskenta-algoritmi tunnisti valuasfaltin ja pinta-alojen laskenta onnistui hyvin. Haasteita laskentaan tuottivat kaistan reunassa sijaitsevat paikat, jotka eivät osu kokonaan mittausleveydelle ja kuluneemmat paikat, joiden pinnan karkeusominaisuudet ovat muuttuneet. Karkeustuloksista laskettujen valuasfalttipaikkojen sijainteja ja määriä on myös mahdollista esittää sekä tarkastella karttasovelluksen avulla.

Työn tuloksena syntyi kaksi hieman erilaista laskentatapaa SIP-kohteiden toimenpidesuunnitteluun karkeusaineiston perusteella. Laadituissa esimerkkisuunnitelmissa laskettiin ensin 10 cm MPD-tuloksista 1 m keskiarvot kaistan kolmelle osalle (vasen ja oikea ajoura sekä kaistan keskiosa). Haluttu toimenpiteen laajuus kohdistettiin sitten kohteen karkeimmille neliöille ja syntynyttä esimerkkisuunnitelmaa pystyi tarkastelemaan myös kartalla. Jos SIP halutaan kohdentaa 0,5–1 m² tarkkuudella mitatun karkeusaineiston perusteella, voi toteutusvaiheessa haasteeksi muodostua tarvittava paikanustarkkuus.

REM-, SIP- ja takuukohteiden pinnan karkeuden sekä sen kehityksen tarkasteluissa ennen toimenpidettä, sen jälkeen samana kesänä ja ensimmäisen talven jälkeen todettiin, että mitatut karkeustulokset vastaavat maastokäynneillä silmämääräisesti tehtyjä havaintoja. REM-kohteiden tulosten tarkastelun perusteella vaikutti, etteivät yksittäiset karkeat tai purkautuneet kohdat vanhassa päälysteessä vaikuttaneet REM-käsittelyn jälkeiseen uuteen pintaan. Molemmilla SIP-testikohteilla pinnan keskimääräinen karkeus sekä karkeiden kohtien suhteelliset osuudet pienenevät sirotepintauksen seurauksena ja toimenpiteen vaikutus pinnan karkeuteen säilyi myös ensimmäisen talven yli. Valittujen takuukohteiden tarkastelujen perusteella mittauksilla tuotettua pinnan karkeustietoa voitaisiin hyödyntää korjaustoimenpiteitä tarvitsevien kohtien tunnistuksessa ja luokittelussa. Mitattujen karkeusaineistojen tarkasteluissa yhtenä haasteena oli kuitenkin kertyvän aineiston suuri määrä, jolloin aineistojen tarkastelu oli aikaa vievää. Karkeustulosten hyödynnettävyyden kannalta onkin tarpeellista pystyä määrittämään tunnuslukuja tai raja-arvoja, joiden avulla voitaisiin keskittyä seuraamaan esimerkiksi vain pinnaltaan kaikkein poikkeavimpia kohtia.

Eeva Huuskonen-Snicker, Markus Simonen, Pertti Virtala och Pauli Alanaatu: Utnyttjande av grovhetsdata från vägytemätning vid åtgärdsplanering. Trafikledsverket. Helsingfors 2019. Trafikledsverkets undersökningar 22/2019. 40 sidor. ISSN 2490-0982, ISBN 978-952-317-746-8.

Sammanfattning

I arbetet granskades och utvecklades metoder för utnyttjande av grovhetsdata från vägytemätning som utgångspunkt vid åtgärdsplanering av gamla beläggningar. Granskad makrogrovhetsdata om vägbeläggningen producerades med en mätmetod som utvecklats av Destia, där makrogrovheten (MPD) kan fastställas med hela tvärprofilens bredd med utnyttjande av den data som erhållits från 17 mätningsslinjer med 10 cm intervaller. I arbetet utvecklades metoder för räkning av antal fräsningar av gjutasfalt och inriktning av ytbehandling utgående från data om beläggningens grovhet på REM-objekt. I arbetet granskades ytterligare hur ytans grovhet utvecklats före åtgärden och därefter hos REM-objekt, ytbehandlingsobjekt och objekt som lyder under garantin.

För beräkning av arealen på platser för gjutasfalt utvecklades en enkel beräkningsalgoritm, där de slätaste ställena utgående från beläggningens grovhet klassificeras som gjutasfalt och deras areal räknas ut för en önskad rapporteringsintervall. Beräkningsalgoritmen testades med hjälp av en vägsträcka med två olika typer av beläggning. Utgående från detta identifierade beräkningsalgoritmen gjutasfalt och beräkningen av arealen lyckades bra. Problem vid beräkningen utgjorde de ställen på kanten av filen som inte helt och hållet träffar mätningssbredden och mer slitna ställen, där beläggningens grovhetsegenskaper har förändrats. Det är också möjligt att presentera och granska positioneringen av och antalet gjutasfaltställena som beräknats av grovhetsresultaten med hjälp av en kartapplikation.

Som ett resultat av arbetet uppkom två något olika beräkningssätt för åtgärdsplanering av ytbehandlingsobjekt utgående från grovhetsmaterial. I de exempelplaner som gjorts upp beräknades först 10 cm av MPD-resultaten med medelvärden på 1 m för tre delar av filen (vänster och höger körspår och mitten av filen). Den önskade omfattningen av åtgärden riktades sedan till den grövsta kvadraten på objektet och den uppkomna exempelplanen kunde granskas även på kartan. Om man vill rikta in ytbehandlingsobjekt utgående från ett grovhetsmaterial mätt med en noggrannhet på 0,5-1 m², kan den noggrannhet som krävs vid positioneringen bli en utmaning vid genomförandet.

I fråga om grovheten i REM-objekt, ytbehandlingsobjekt och garantiobjektens yta samt granskningen av denna före åtgärden, efter åtgärden samma sommar och efter den första vintern konstaterades att de uppmätta grovhetsresultaten motsvarar de ungefärliga observationer som gjorts vid besök i terrängen. Utgående från en granskning av resultaten av REM-testobjekten verkade det som om enskilda grova eller upplösta ställen i den gamla beläggningen inte påverkat den nya ytan efter REM-behandlingen. På vardera testställena med ytbehandlingsobjekt minskade ytans genomsnittliga grovhet samt den relativa andelen grova ställen till följd av ytbehandling och åtgärdens inverkan på ytans grovhet höll i sig också över den första vintern. Utgående från granskningar av de valda garantiobjekten kunde den grovhetsdata om ytan som producerats genom mätning utnyttjas vid identifiering och klassificering av objekt som kräver reparationsåtgärder. Vid granskningen av uppmätt grovhetsdata var en av utmaningarna emellertid den stora mängden insamlad data, vilket gjorde att granskningen av materialet drog ut på tiden. I fråga om utnyttjande av grovhetsresultaten är det nödvändigt att kunna fastställa nyckeltal eller gränsvärden, med hjälp av vilka man kunde koncentrera sig på att följa upp till exempel endast sådana ställen där ytan är mest avvikande.

Eeva Huuskonen-Snicker, Markus Simonen, Pertti Virtala and Pauli Alanaatu: Taking advantage of the SLM texture information in action planning. Finnish Transport Infrastructure Agency. Helsinki 2019. Research reports of the FTIA 22/2019. 40 pages. ISSN 2490-0982, ISBN 978-952-317-746-8.

Abstract

This study examined and developed methods for using the texture information obtained with road pavement condition survey as initial information for the action planning concerning old surfacing. The reviewed macrotexture information on the surfacing was generated by a measurement method developed by Destia, in which the macrotexture (mean profile depth, MPD) can be determined throughout the width of the cross-sectional profile by taking advantage of the information generated by 17 measuring lines at 10 cm intervals. The study developed methods for calculating the amount of grinding for the mastic asphalt patches at REM sites and the placement of surface dressing (SD) based on the surface texture information. In addition, the study investigated the development of surface texture before and after the measure at the REM and SD surfacing sites as well as sites under warranty.

A simple calculation algorithm was developed for calculating the areas of mastic asphalt patches, in which the smoothest areas based on the texture of the surfacing are classified as mastic asphalt and their area is calculated for the desired reporting interval. The calculation algorithm was tested by using two parts of the road with different types of surfacing; based on this, the calculation algorithm identified the mastic asphalt and the surface area calculations went well. Patches on the edge of the lane that were not fully within the measured width, as well as more worn patches, the surface texture characteristics of which had changed, presented challenges in the calculations. The number and locations of mastic asphalt patches calculated based on the texture results can also be presented and examined with a map application.

As a result of the work, two slightly different calculation methods were created for the action planning of SD sites based on texture data. In the example plans that were drawn up, averages for 1 m were calculated first based on the 10 cm MPD results for the three parts of the lane (left and right rut and the centre of the lane). The desired scope of the measure was then focused on the squares in the area with the roughest texture; the example plan created could also be studied on a map. If the aim is to allocate the SD based on the texture data measured with an accuracy of 0.5–1 m², the required positioning accuracy may present a challenge during the implementation phase.

In examining the surface texture of the REM and SD sites and sites subject to a guarantee and the development of the texture before the measure, during the same summer after the measure and after the first winter, it was found that the measured texture results corresponded to the visual observations made during site visits. Based on a review of the results from the REM test sites, it appears that individual rough or broken parts of the old surfacing did not affect the new surface after the REM treatment. At both SD test sites, the average texture of the surface and the relative share of areas with rough texture diminished due to the surface dressing, and the effect of the measure on surface texture remained in place after the first winter. Based on the review of the selected sites subject to a guarantee, the surface texture information produced by measurements could be used in identifying and classifying areas that require repairs. One of the challenges in examining the measured texture data was the large amount of data accrued, which made reviewing the data time-consuming. In fact, for the usability of texture results, it is necessary to define key indicators or limit values, based on which it would be possible to focus on following the areas with the most surface deviations, for instance.

Esipuhe

Tämän työn tavoitteena oli kehittää päällysteen karkeustiedon hyödyntämistä vanhojen päällysteiden toimenpidesuunnittelun lähtötietona. Tarkasteltavia toimenpiteitä olivat REM-kohteiden valuasfalttipaikkojen jysintämäärien laskenta ja sirotepintauksen (SIP) kohdistus pinnan karkeustiedon perusteella. Lisäksi työssä tarkasteltiin pinnan karkeuden kehitystä ennen toimenpidettä ja sen jälkeen.

Tämä projekti kuuluu Väyläviraston Digitalisaatiohankkeeseen. Projektin sisältöä oli alustavasti suunnitellut Markus Simonen Keski-Suomen ELY-keskuksesta ja sen toteutuksesta vastasi Destia Oy Väyläviraston tilauksesta. Lisäksi takuukohteiden tarkastelun rahoituksesta vastasi Keski-Suomen ELY-keskus. Projekti toteutettiin vuosina 2018-2019. Työn ohjauksesta vastasivat Markus Simonen ja Katri Eskola. Destiasta projektiin osallistuivat Eeva Huuskonen-Snicker projektipäällikkönä ja asiantuntijoina Pauli Alanaatu, Pertti Virtala, Timo Eskola sekä Stavros Syrigos.

Helsingissä joulukuussa 2019

Väylävirasto
Kunnossapidon ohjaus ja kehittäminen

Sisältö

1	JOHDANTO	8
2	MAKROKARKEUDEN (MPD:N) MITTAUSMENETELMÄ KOKO POIKKIPROFIILISTA	9
3	VALUASFALTTPAIKKOJEN TUNNISTUS REM-UUSIOPÄÄLLYSTYSKOhteilla	10
3.1	Menetelmäkuvaus.....	10
3.2	Tuloksia valituilta koekohteilta	11
4	SIROTEPINTAUKSEN (SIP) TOIMENPIDESUUNNITTELUUN KEHITETTY MENETELMÄ.....	15
4.1	Menetelmäkuvaus.....	15
4.2	SIP-testikohteet	16
4.2.1	Kohde E	16
4.2.2	Kohde F	17
4.3	Esimerkkejä SIP-kohteen toimenpidesuunnittelusta.....	17
4.4	Pinnan karkeuden muutokset SIP-kohteilla	19
5	VANHAN PÄÄLLYSTEEN PINNAN KARKEUDEN VAIKUTUS UUTEEN PÄÄLLYSTEeseen REM-KOhteilla	23
5.1	Karkeusmittausmenetelmän hyödyntäminen REM-kohteilla.....	23
5.2	Havainnot valituilta REM-kohteilta.....	23
5.2.1	Kohde A	24
5.2.2	Kohde B	25
5.2.3	Kohde C	26
5.2.4	Kohde D	31
5.3	Johtopäätöksiä REM-kohteiden havainnoista	34
6	PÄÄLLYSTEEN KARKEUSTIEDON HYÖDYNTÄMINEN TAKUUAJAN SEURANNASSA.....	35
7	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	38
	LÄHTEET	40

1 Johdanto

PTM-mittalaitteiden ja mittaustulosten prosessointimenetelmien kehityksen myötä päällysteen karkeuden määrittäminen on tullut mahdolliseksi koko mitatun poikkiprofiilin leveydeltä. Karkeusmittausta on kehitetty Väyläviraston projekteissa (Virtala & Alanaatu 2017, Virtala et al. 2019) uusien päällysteiden tasalaatuisuuden laadunvalvontaan, mutta koko mitatun poikkiprofiilin karkeustietoa ei ole vielä hyödynnetty päällystystöiden toimenpidesuunnittelussa. Esiin on kuitenkin noussut tarve tehostaa ja automatisoida päällystystöiden toimenpidesuunnittelua kehittämällä vanhan päällysteen mittaustietojen hyödyntämistä aiempaa monipuolisemmin. Vanhan päällysteen ominaisuuksien parempi huomioiminen antaa myös mahdollisuuden REM-uusiopäällysteiden kestävyuden lisäämiselle.

Tämän projektin tavoitteena oli kehittää menettelyitä vanhan päällysteen karkeustiedon hyödyntämiseen toimenpidesuunnittelun lähtötietona ja tuottaa työkalu tiedon automaattiseen analysointiin sekä toimenpidesuunnitelman luomiseen. Tarkasteltavina toimenpiteinä olivat harvojen tai purkautumisalttiiden päällysteosuuksien sirotepintausten (SIP) kohdistus sekä REM-käsittelyllä toteutettavien uusiopäällystyskohteiden valuasfalttipaikkojen jyrskintöjen suunnittelu. Lisäksi tämän projektin tavoitteena oli tarkastella, miten vanhan päällysteen karkeat, mahdollisesti karkean rakeisuuslajittuman seurauksena syntyneet jo purkautuneet tai purkautumisalttiit kohdat vaikuttavat REM-käsittelyn jälkeiseen uuteen päällysteeseen. Projektin edetessä päällysteen karkeustiedon hyödyntämisen tarkasteluihin otettiin mukaan myös takuun alaisia päällystyskohteita, joiden takuu-aika oli päättymässä. Näiden kohteiden tarkastelun tavoitteena oli selvittää, voiko mittauksilla tuotetun karkeustiedon avulla tunnistaa ja luokitella takuu-aikana korjaustoimenpiteitä tarvitsevia kohtia.

Sirotepintausten suunnittelu ja toimenpiteen kohdistus perustuvat nykyisin objektiiviseen ja visuaaliseen arvioon, jolloin on vaarana, etteivät toimenpiteet kohdistu optimaalisimpiin kohtiin tai että suunnitellut toimenpidemäärät muuttuvat merkittävästi työn edetessä. Valuasfalttipaikkausten jyrskintä ennen REM-uusiopintausta on nähty tarpeelliseksi, koska paikkojen on havaittu vaikuttavan uuden päällysteen työnaikaisiin ja toiminnallisiin ominaisuuksiin sekä mahdollisesti heikentävän kestoikää. Jyrskintämäärien arviointi ennen toimenpidettä tehdään nykyisin inventoimalla kohde silmämääräisesti, mutta mittauksilla tuotetun karkeustiedon hyödyntäminen voisi automatisoida tätä työvaihetta sekä parantaa työturvallisuutta erityisesti vilkkaasti liikennöidyillä teillä.

Tämä projekti kuuluu Väyläviraston Digitalisaatiohankkeeseen. Projektin sisältöä oli alustavasti hahmoteltu Keski-Suomen ELY-keskuksessa ja vuosina 2018-2019 toteutetun projektin suunnitteluun sekä toteutukseen osallistuivat Väylävirasto, Keski-Suomen ELY-keskus ja Destia. Koekohteiden ensimmäiset mittaukset tehtiin keväällä 2018 ennen mahdollisia toimenpiteitä, seuraavat mittaukset loppukesällä 2018 toimenpiteiden jälkeen ja valittujen kohteiden seurantamittauksia suoritettiin talven jälkeen keväällä 2019. Ensimmäiset maastokatselmukset tehtiin kesällä 2018 ja toiset kesällä 2019.

2 Makrokarkeuden (MPD:n) mittausmenetelmä koko poikkiprofiilista

PTM-mittausten avulla seurataan tieverkon kuntoa eli pääasiassa päällysteen urautumista ja epätasaisuutta, mutta samalla mittauslaitteistolla on mahdollista saada tietoa myös päällysteen pinnan karkeudesta. Destia on viime vuosina kehittänyt päällysteen makrokarkeuden mittausmenetelmää siten, että makrokarkeus voidaan tuottaa koko mitatun poikkiprofiilin leveydeltä hyödyntäen 17 mittauslinjasta tuotettua tietoa. Makrokarkeuden mittausmenetelmä on kuvattu tarkemmin PANK-menetelmäkuvauksessa PANK-5212 Uuden päällysteen tasalaatuisuus, PTM-auto (2019).

Perinteinen PTM-mittauslaitteisto koostuu mittauspalkkiin asennetuista piste-laserantureista, joilla katetaan 3,2 metrin mittausleveys. Laserantureiden väliset etäisyydet ovat urien kohdalla 11–13 cm ja niiden ulkopuolella 20–30 cm. Päällysteen makrokarkeus (MPD) tuotetaan ajourista ja ajourien keskeltä standardin ISO 13473-1:2019 (2019) mukaisesti 64 kHz:n pistelaserantureilla. Kehitettyssä koko poikkiprofiilin mittausmenetelmässä hyödynnetään lisäksi kahta ylimääräistä 16 kHz:n laseranturia, jotka sijaitsevat samassa linjassa 64 kHz:n laserantureiden kanssa. Näin erilaisten laserantureiden tulosten suhteesta voidaan laskea kalibrointikerroin, jonka avulla muiden 16 kHz:n laserantureiden tulos voidaan kalibroida vastaamaan standardin mukaan laskettua MPD-arvoa. Lopputuloksena makrokarkeus voidaan tuottaa 17 mittauslinjalle 10 cm pistevälillä pituussuunnassa.

Makrokarkeustulokset voidaan esittää visuaalisessa muodossa kuten esimerkiksi kuvassa 1, jossa laserien väliset etäisyydet on huomioitu ja MPD-arvot esitetään sopivalla väriasteikolla. Kuvan 1 mittauks tulokset ovat noin 25 metrin matkalta eli kuvan vaakasuunnassa on 250 havaintoa ja pystysuunnassa 17 laserilta eli 3,2 metrin leveydeltä.



Kuva 1. Kuvassa PTM-mittauslaitteisto ja alla koko poikkiprofiilista lasketut karkeustulokset noin 25 metrin matkalta. Punaiset alueet kuvaavat karkeampaa ja vihreät sileämpää päällystettä.

3 Valuasfalttipaikkojen tunnistus REM-uusio-päällystyskohteilla

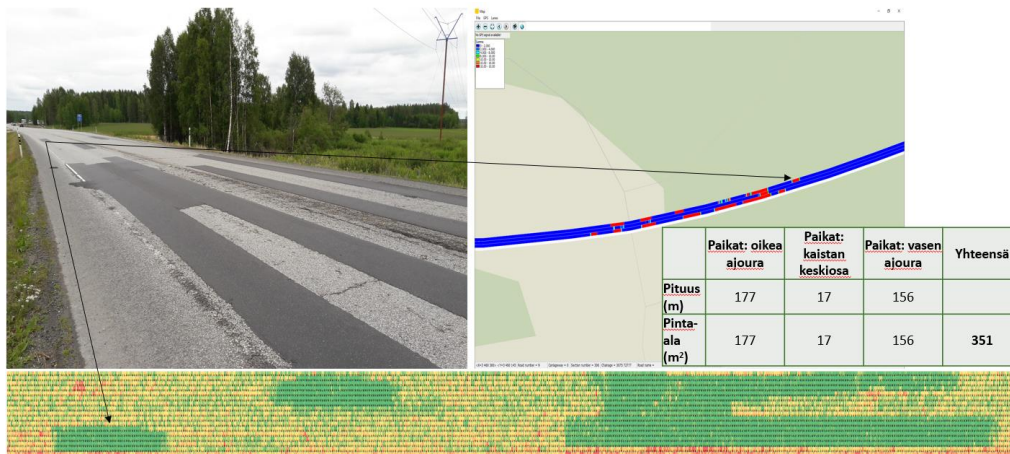
3.1 Menetelmäkuvaus

Valuasfaltista (VA) tehtyjen paikkausten pinnat ovat sileitä ja ne on siten mahdollista erottaa pinnan ominaisuuksiltaan karkeammista AB- tai SMA-päällysteistä. Ensimmäisenä työvaiheena varmistettiin kuitenkin VA-paikkojen erottuminen makrokarkeuden perusteella. Kuvassa 2 on esitetty esimerkkikuvat AB- ja SMA-päällysteiltä. Valuasfalttipaikat erottuvat niissä karkeudeltaan sileinä, käytetyllä väriasteikolla yhtenäisinä vihreinä, alueina karkeustuloksissa.



Kuva 2. Esimerkkikuva valuasfalttipaikasta SMA-päällysteellä (vasemmalla) ja AB-päällysteellä (oikealla). MPD-tulokset on esitetty noin 20 metrin matkalta ja molemmissa kuvissa on käytetty samaa väriasteikkoa.

Tämän jälkeen valuasfalttipaikkojen automaattista tunnistusta ja niiden pinta-alojen laskentaa varten kehitettiin yksinkertainen työkalu, jonka avulla voidaan hyödyntää koko poikkiprofiilin makrokarkeustuloksia. Ensimmäiseksi jokaista 10 cm:n MPD-arvoa verrataan raja-arvoon ja, jos MPD on annetun raja-arvon alapuolella, merkitään solun tulosta potentiaalisesti VA-paikaksi. Jos raja-arvon alittavia tuloksia on metrin matkalla riittävän monta, tulkitaan tämä metri VA-paikaksi. Tämä prosessi tehdään erikseen vasemmalle ja oikealle ajouralle sekä kaistan keskiosalle, jolloin valuasfalttipaikkojen sijainti kaistan poikkisuunnassa voidaan myös ottaa huomioon. VA-paikkojen pinta-alojen laskennassa päädyttiin käyttämään yksinkertaisesti vakioleveyttä, 1 metriä, jottei ajolinjan muutoksella ja edelleen yksittäisillä lasereilla olisi niin merkittävää vaikutusta pinta-alan määrittämiseen. Näin ollen pinta-alojen laskennassa pystyttiin hyödyntämään yksinkertaista kertolaskua, jossa kaistan eri osille saadaan pinta-alat vakioleveyden ja 10 cm:n tulosten pituuden tulona. Tulokset voidaan myös esittää kartalla, koska kaikki mittaustulokset on sidottu 10 cm:n tasolla tierekisteriosoitteisiin. Kuvassa 3 on esimerkki valuasfalttipaikkojen tunnistuksesta ja pinta-alojen laskennasta.

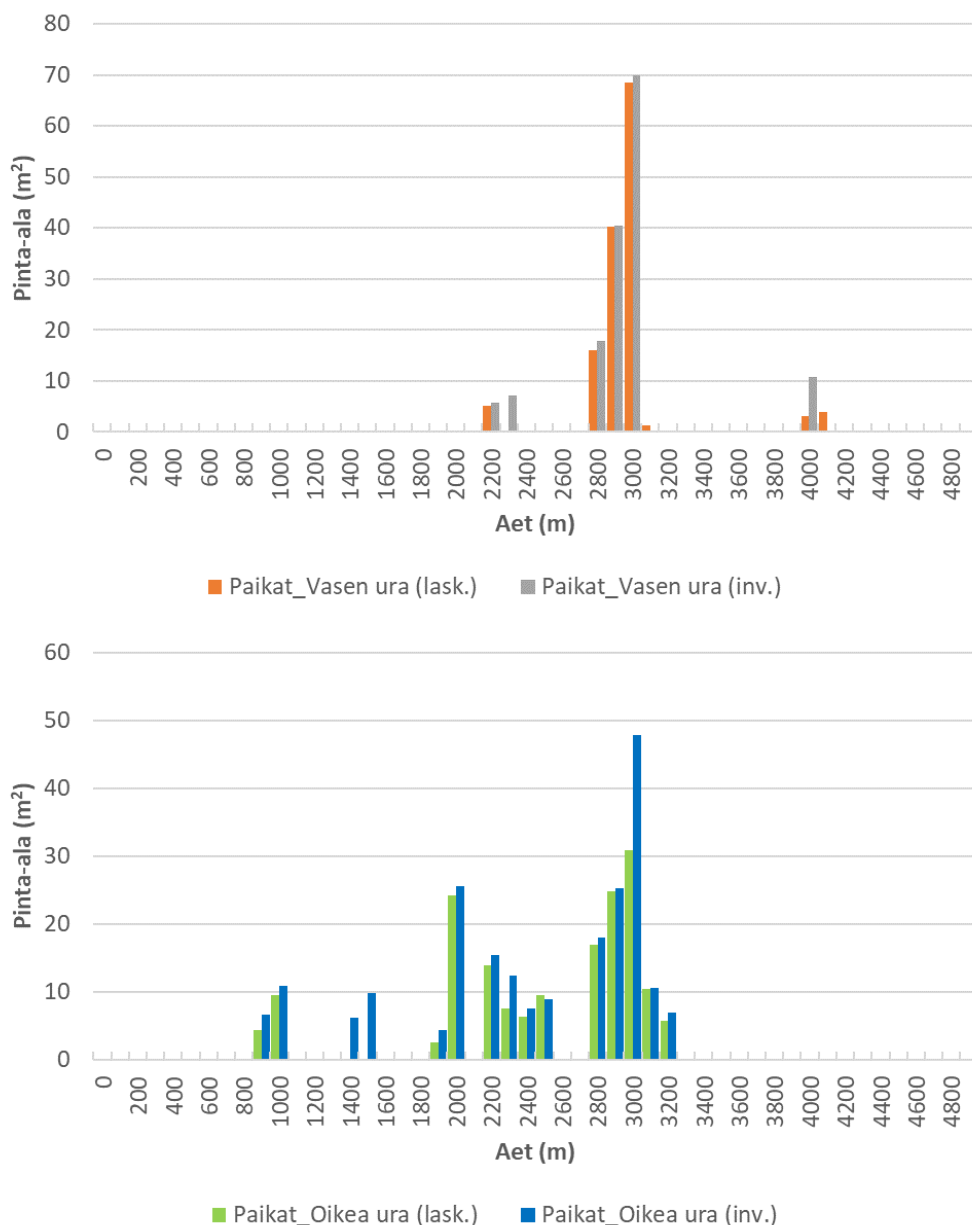


Kuva 3. Esimerkki valuasfalttipaikkojen tunnistuksesta ja pinta-alojen laskennasta.

3.2 Tuloksia valituilta koekohteilta

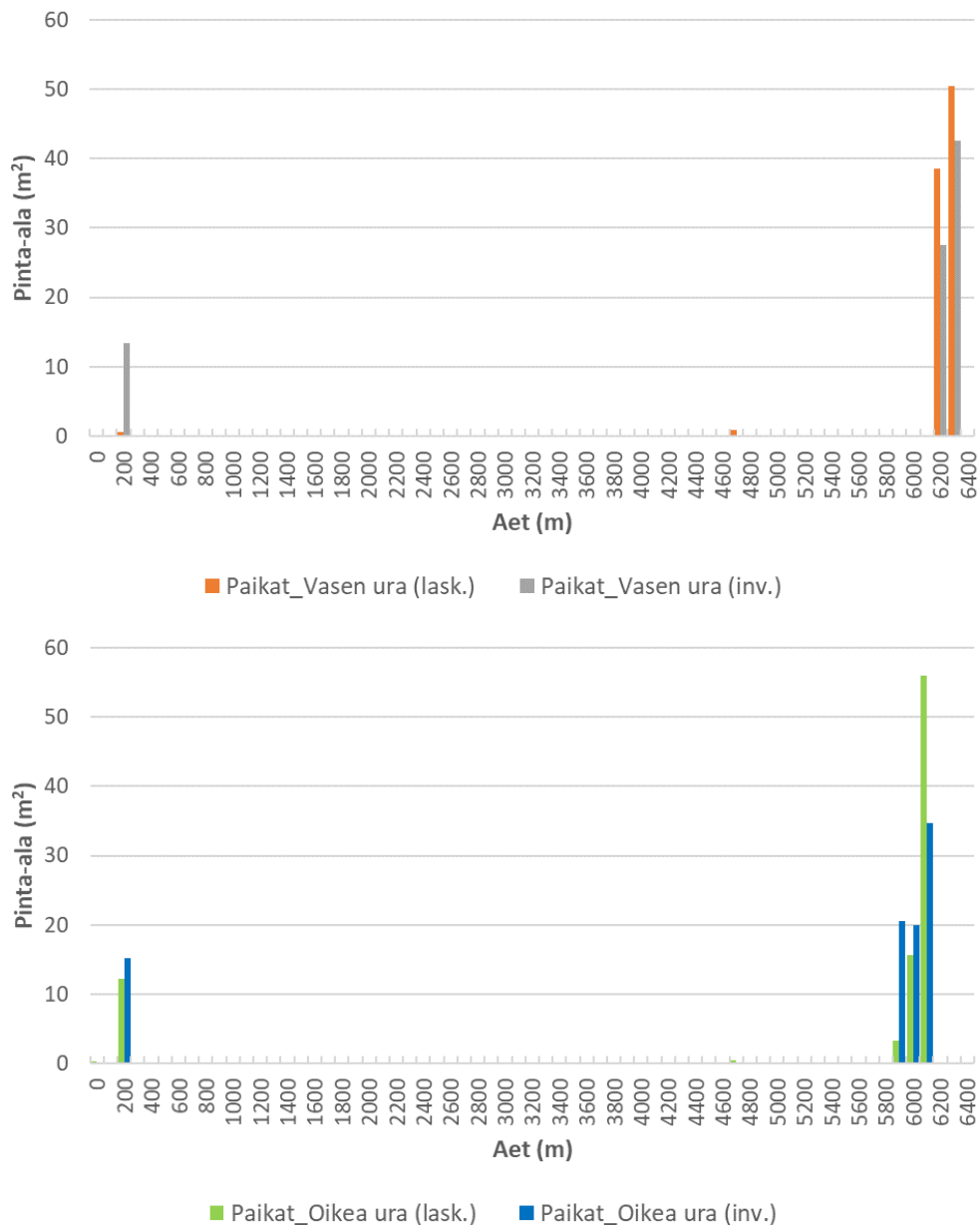
Valuasfalttipaikkojen tunnistusta varten kehitetyllä laskenta-algoritmilla määritettiin haluttujen REM-kohteiden VA-paikkojen pinta-alat. Laskenta-algoritmin toimivuus testattiin kuitenkin ensin vertaamalla laskettuja pinta-aloja kuvista inventoituihin VA-paikkojen pinta-aloihin. Inventointi tehtiin määrittämällä PTM-mittauksen yhteydessä otetuista kuvista VA-paikkojen sijainnit ja pinta-alat manuaalisesti tätä varten kehitetyn ohjelmiston avulla. Valuasfalttipaikkojen inventointi kuvista tehtiin kahden eri kohteen kahdelle tieosalle, joista kohteen A tieosalla oli AB 16 -päällystettä ja kohteen B SMA 16 -päällystettä.

Kohteen B inventoitujen ja laskettujen valuasfalttipaikkojen vertailu on esitetty kuvassa 4. Inventoinnissa otettiin huomioon vain vasen ja oikea ajoura, eikä kaistan keskiosaa tarkasteltu inventoinnin nopeuttamiseksi. Vertailun perusteella valupaikkojen laskenta karkeusdatasta toimi hyvin, koska laskemalla saatu kokonaispinta-ala oli 305 m² ja inventoimalla 369 m², eikä vääriä havaintoja juurikaan tullut. Muutamissa kohdissa (esim. alkuetäisyydellä 1 400–1 500 m) inventoitua VA-paikkaa ei saatu laskennalla selville, mutta usein tämä liittyi kaistan reunassa olevaan paikkaan, joka ei ole ollut selvästi PTM:n mittausalueella. Pinta-alojen eroja selittää myös osaltaan kuvista inventoitujen pinta-alojen määrittämisen tarkkuus ja siihen liittyvät haasteet.



Kuva 4. Kohteen B yhden tieosan kuvista inventoitujen ja karkeusdatasta laskettujen valuasfalttipaikkojen vertailu vasemmalle ja oikealle ajouralle.

Toisen vertailussa olleen kohteen A tieosan avulla tarkoituksena oli myös tarkistaa, vaikuttaako päällystetyyppi laskenta-algoritmin toimintaan, koska kyseisen kohteen päällystetyyppi oli AB 16. Kohteen inventoitujen ja laskettujen valuasfalttipaikkojen vertailu on esitetty kuvassa 5. Vertailun perusteella VA-paikkojen laskenta karkeusdatasta toimii hyvin myös AB-päällysteellä, koska laskemalla saatu kokonaispinta-ala oli 178 m² ja inventoimalla 174 m². Tässä kappaleessa esitettyjen molempien tieosien tulosten laskennassa käytettiin samoja parametreja ja valuasfalttipaikkojen tunnistuksessa MPD:n raja-arvona 0,45 mm. Kyseinen MPD:n raja-arvo on lähellä bitumin pintaan nousun kohdista mitattuja paikallisia MPD:n arvoja uuden päällysteen tasalaatuisuutta arvioitaessa (Virtala et al. 2019).



Kuva 5. Kohteen A yhden tieosan kuvista inventoitujen ja karkeusdatasta laskettujen valuasfalttipaikkojen vertailu vasemmalle ja oikealle ajouralle.

Työssä tarkasteltujen eri REM-kohteiden valuasfalttipaikkojen kokonaispinta-alat laskettiin kuvien avulla tehdyn vertailun jälkeen samoilla laskenta-algoritmin parametreilla. Laskemalla saatuja tuloksia voitiin näin verrata toteutuneisiin valupaikkojen jysintämääriin (Taulukko 1). Kohteiden toteutuneet VA-paikkojen jysintämäärät saatiin urakoitsijalta ja ne perustuvat kohteiden silmämääräisiin inventointeihin. Kahdella kohteella, A ja C, mittauksiin perustuvat lasketut ja toteutuneet pinta-alat olivat hyvin lähellä toisiaan, mutta toisilla kahdella kohteella, B ja D, tulokset erosivat merkittävästi. Toteuman ja laskennan välisiä eroja ei päästy jälkikäteen tarkastelemaan, koska kohteiden jysinnät oli toteutettu laskelmien valmistuttua. Tulosten tarkastelun perusteella vaikuttaa, että merkittävin syy eroihin on se, että valuasfalttipaikka sijaitsee kaistan reunassa niin, ettei se osu PTM-mittauksen alueelle kuin

osittain. Laskentaparametreja muuttamalla laskettua pinta-alaa saatiin nostettua esimerkiksi kohteella D lähelle 3 690 m², mutta mittausalueen ulkopuolelle jäävää aluetta ei tietenkään ole mahdollista ottaa huomioon. Toinen mahdollinen syy laskennallisesti saaduille pienemmille pinta-aloille on valuasfaltin ikä ja edelleen paikan pinnan karkeuden muutos verrattuna uuteen hyvin sileään valuasfaltin pintaan. On myös mahdollista, että VA-paikkoja on tehty kohteille lisää kevään PTM-mittauksen jälkeen, jolloin ne olisivat mukana kesällä tehdyissä inventoiduissa jysintämäärissä, mutta eivät kevään mittaus- tulosten perusteella tehdyissä laskennoissa.

Taulukko 1. REM-kohteiden karkeustuloksista laskenta-algoritmillä määritettyjen valuasfalttipaikkojen kokonaispinta-alojen vertailu urakoitsijalta saatuihin kohteiden toteutuneisiin jysintämääriin.

<i>Kohteen nimi</i>	<i>Valupaikkojen laskettu pinta-ala (m²)</i>				<i>Toteutunut jysintäpinta-ala (m²)</i>			
	<i>Vasen ajoura</i>	<i>Kaistan keskiosa</i>	<i>Oikea ajoura</i>	<i>Yht.</i>	<i>0-50 m²</i>	<i>50-150 m²</i>	<i>150-500 m²</i>	<i>Yht.</i>
A	93	36	101	229	240			240
B	1178	212	2524	3913	8630	590		9220
C	296	49	405	749	150	650		800
D	287	73	265	625	3300	340	1100	4740

4 Sirotepintauksen (SIP) toimenpidesuunnitteluun kehitetty menetelmä

4.1 Menetelmäkuvaus

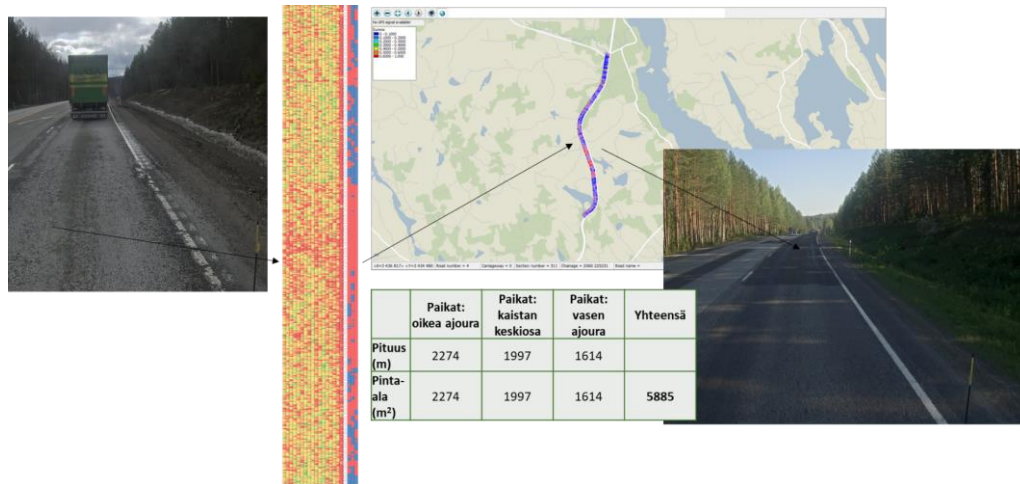
Sirotepintauksen suunnittelussa ja toimenpiteen kohdennuksessa tavoitteena on löytää asfalttipäällysteestä purkautuneet tai purkautumisalttiit eli avoimet ja karkeat kohdat, jotka eivät kuitenkaan ole vielä täysin reikiintyneitä. Karkeusmittaustuloksista halutaan siis paikantaa MPD-arvojen perusteella keskimääräistä karkeampia alueita. Työn alussa ajatuksena oli, että SIP-toimenpiteiden suunnittelussa voitaisiin käyttää samaa algoritmia kuin valupaikkojen pinta-alojen laskennassa mutta säätämällä ja muuttamalla raja-arvoa suuremmaksi. Tätä varten vertailtiin karkeusmittauksen tuloksia ennen ja jälkeen toteutuneita SIP-toimenpiteitä (Kuva 6) ja yritettiin selvittää, millaiset MPD-arvot olivat johtaneet toimenpiteeseen. Työn edetessä kuitenkin havaittiin, että eri päällysteiden MPD-arvoalueet voivat erota ja lisäksi päällysteet ovat voineet ikääntyä eritavoin, mikä näkyy karkeusarvojen arvoalueiden eroavaisuuksina. Näin ollen yhtä, vakiona pysyvää raja-arvoa oli haastavaa löytää ja tämän takia päädyttiin kehittämään hieman erilainen laskenta-algoritmi SIP-toimenpiteiden suunnitteluun.



Kuva 6. Esimerkki SIP-toimenpiteen vaikutuksesta pinnan karkeuteen (oikean kuvan oikeassa reunassa näkyy sirotepintauksen alla kuumapaikka).

Mitatuista karkeustuloksista määritetään ensin haluttua prosenttipistettä, kuten 75 %, vastaava MPD:n raja-arvo, jolloin SIP on tarkoitus kohdistaa keskimäärin tätä MPD:n raja-arvoa karkeammille alueille. SIP-toimenpidesuunnittelua varten kaista jaetaan vastaavalla tavalla kolmeen osaan kuin valuasfalttipaikkojen tunnistuksessa eli vasempaan ja oikeaan ajouraan (tai kaistan osaan) sekä kaistan keskiosaan. Tällöin SIP:n kohdistus kaistan poikkisuunnassa voidaan myös ottaa huomioon. Tämän jälkeen jokaista kaistan osaa (leveys n. 1 m) ja 0,5 m pituisen jakson MPD:n karkeuden keskiarvoa verrataan ennalta laskettuun raja-arvoon. Jos raja-arvo ylittyy, merkitään alue korjattavaksi. Pinta-alojen laskenta ja tulosten esitys kartalla tehdään vastaavasti kuin valuasfalttipaikkojen tunnistuksessa. Säätämällä prosenttipistettä voidaan

tehdä erilaisia SIP-toimenpidesuunnitelmia ja katsoa, miten raja-arvoa muuttamalla toimenpiteen sijainti ja laajuus muuttuvat. Kuvassa 7 on esimerkki SIP-toimenpiteen suunnittelusta karkeusaineiston perusteella ja suunnitelman esityksestä kartalla.



Kuva 7. Esimerkki SIP-toimenpiteen suunnittelusta karkeustulosten perusteella.

Työn edetessä SIP-toimenpidesuunnittelua varten kehitettiin myös toinen laskentamenetelmä, jonka avulla voidaan kohdistaa haluttu sirotepintauksen pinta-ala (m²) kohteen karkeimpiin kohtiin karkeusdatan perusteella. Tässä menetelmässä 10 cm karkeusdatasta lasketaan ensin 1 m keskiarvot kaistan kolmelle osalle (vasen ura, keskiosa ja oikea ura). Suunniteltua SIP:n pinta-alaa verrataan koko kohteen pinta-alaan ja se lasketaan prosentteina koko kohteen pinta-alasta. Tämän prosenttiosuuden perusteella valitaan karkeimmat 1 m jaksot, joille toimenpide kohdistetaan. Toimenpidesuunnitelma voidaan esittää kartalla vastaavasti kuin edellisessä laskenta-algoritmissa.

4.2 SIP-testikohteet

Tämän projektin testikohteiksi valikoitui kaksi SIP-kohdetta, joista käytetään nimityksiä kohde E ja kohde F. Kohteille tehtiin maastokatselmukset kesällä 2018 ennen toimenpiteitä ja niillä oli käytössä keväällä mitattu makrokarkeusaineisto. Projektin alkuperäisenä tavoitteena oli tuottaa SIP-toimenpidesuunnitelma jo kyseisille kohteille, mutta projektin ja päällystystöiden aikataulujen takia tämä ei onnistunut. Kohteiden SIP-toteumat saatiin kuitenkin urakoitsijalta.

4.2.1 Kohde E

Kohteen E maastokatselmus tehtiin 7.6.2018. Sää vaihteli kuivasta, tihku- ja vesisateeseen. Kohteen edelliset toimenpiteet olivat SMA 16/26 REM ja SMA 16/80 MPKJ. Kohteella tehtiin seuraavat havainnot:

- Kohde kokonaisuudessaan pinnaltaan erittäin karkea
- Kohteen voisi SIP:ata melkein pä kokonaisuudessaan.

Kohteen SIP-toteuma oli 30 783 m².

4.2.2 Kohde F

Kohteella F tehtiin maastokatselmus 25.6.2018 aurinkoisessa säässä. Kohteen edelliset toimenpiteet olivat SMA 16/25 REM ja SMA 16/100-110 MP/MPKJ, jota oli jonkin verran korjattu UREM-menetelmällä. Kohteella tehtiin seuraavat havainnot:

- Valaistusolosuhteet vaikuttavat voimakkaasti arvioon, aurinkoa vasten suunta 2
- Paikoitelleen pitkiä osuuksia, joista yksittäisiä kiviä irti
- REM-kohteen lisämässän ja alustan kiviaineksen väriero hankaloittaa silmämääräistä arviointia.

Kohteen SIP-toteuma oli 12 799 m².

4.3 Esimerkkejä SIP-kohteen toimenpide-suunnittelusta

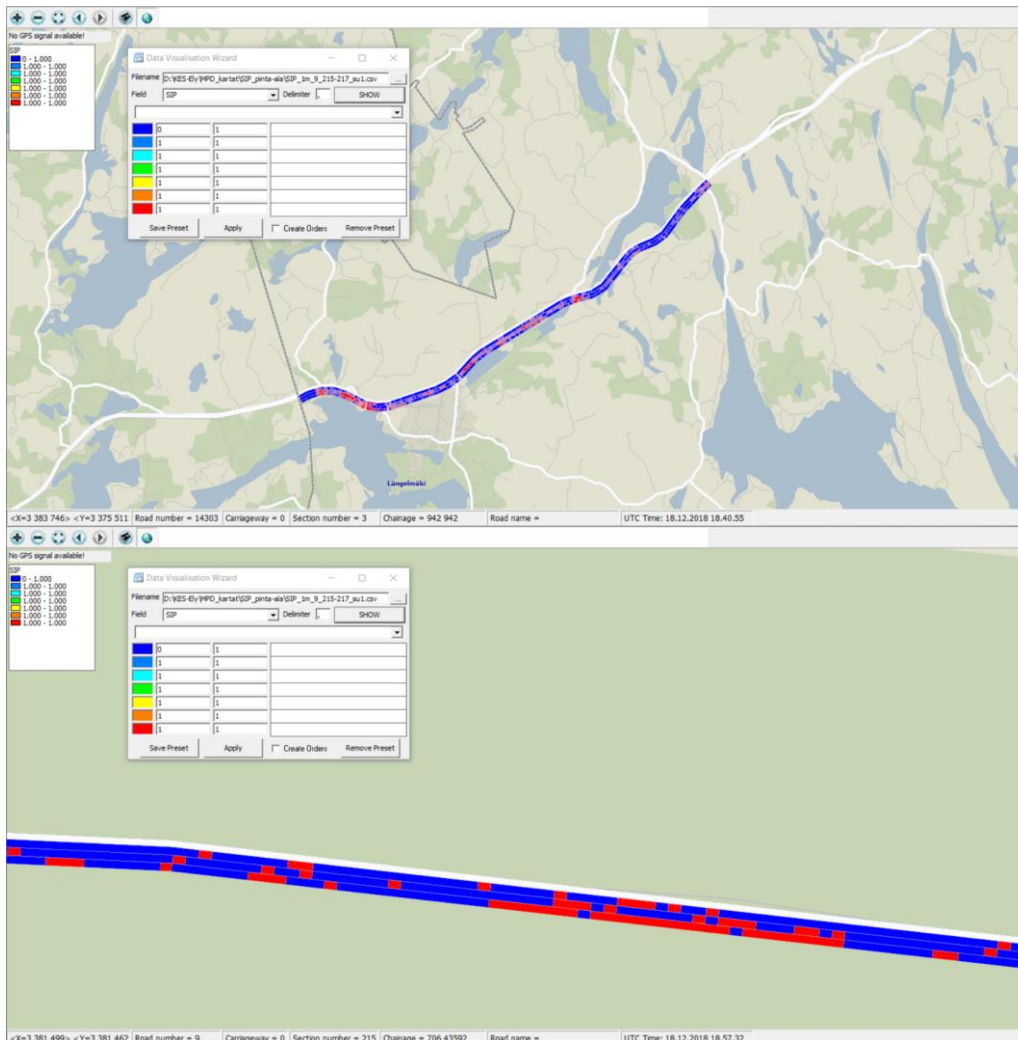
SIP-testikohteiden toimenpidesuunnittelua ei pystytty toteuttamaan kohteiden toteutuksen ja tämän projektin aikataulujen takia ennen toteutuneita toimenpiteitä, kuten oli suunniteltu, vaan toimenpidesuunnitelmia tehtiin jälkilaskentana. Tässä kappaleessa on ensin esitetty kohteen F SIP-toimenpidesuunnitelma, joka tehtiin keväällä 2018 mitatun karkeusaineiston perusteella. Esimerkkisuunnitelma kohdistettiin yhteen suuntaan kahdelle tieosalle. SIP-suunnitelma tehtiin kappaleessa 4.1 esitetyn jälkimmäisen laskentaperiaatteen mukaisesti eli 10 cm:n karkeusaineistosta laskettiin ensin 1 m:n keskiarvot vasemmalle ja oikealle ajouralle sekä kaistan keskiosalle (kuva 8). Tämän jälkeen suunnan 1 SIP-tarpeeksi arvioitiin toteuman pohjalta 6 400 m², mikä oli 20 % kohteen pinta-alasta. 20 % vastaava MPD:n raja-arvo oli tässä tapauksessa 1,28 mm (kuva 9). Lasketun MPD:n raja-arvon avulla SIP voidaan kohdistaa karkeusaineiston karkeimpiin kohtiin, joita on merkitty punaisella kuvissa 9–10. Näin luotua SIP-toimenpidesuunnitelmaa voidaan myös tarkastella kartalla kuvan 10 tapaan.

Road	Section	Carriag	Directi	Lane	Dist	L17	L16	L15	L14	L13	L12	L11	L10	L9	L8	L7	L6	L5	L4	L3	L2	L1	1m ka	Ka L16	Ka L10	Ka L7
9	215	0	1	1	1891	0.95	1.35	0.94	0.7	1.55	0.6	0.55	0.97	1.15	1.8	1.48	1.1	1.12	1.39	0.89	1.09	2.5	1	1.05	1.30	1.07
9	215	0	1	1	1891.1	1.02	1.13	1.03	0.64	1.49	0.58	0.55	0.9	1.77	1.46	1.79	0.93	0.81	0.53	1.25	0.77	1.96	0			
9	215	0	1	1	1891.2	1.27	1.59	1.33	0.67	1.24	0.81	0.63	0.8	1.83	1.05	2.07	1.55	0.9	0.94	1.04	1.27	2.44	0			
9	215	0	1	1	1891.3	1.29	1.02	0.75	0.76	0.82	0.93	0.59	0.96	1.37	1.01	1.81	0.68	1.2	0.76	1.12	0.68	2.11	0			
9	215	0	1	1	1891.4	0.7	1.58	0.76	0.98	1	0.79	1.21	1.08	1.04	1.25	2.83	0.7	1.23	0.83	1.21	1.33	3.22	0			
9	215	0	1	1	1891.5	1	1.81	0.71	0.94	1.32	1.21	0.86	1.18	1.18	1.4	0.97	1.3	0.97	0.74	1.2	0.84	2.42	0			
9	215	0	1	1	1891.6	1.15	0.94	1.15	0.78	0.93	1.29	1.30	0.65	1.44	1.4	1.31	1.2	1.58	0.82	0.66	0.63	2.52	0			
9	215	0	1	1	1891.7	1.04	1.66	0.81	0.37	1.36	0.69	0.64	0.56	1.38	1.04	0.94	1.01	1.13	1.02	0.9	0.92	2.67	0			
9	215	0	1	1	1891.8	1.02	1.03	0.83	1.07	1.12	1.06	0.53	0.89	1.5	1.48	2.15	1.08	0.81	0.82	0.73	1.11	1.98	0			
9	215	0	1	1	1891.9	2.09	1.59	1.44	0.62	1.24	0.53	0.55	1.75	1.27	1.9	1.07	1.57	0.94	0.65	1.28	1.15	1.54	0			
9	215	0	1	1	1892	1.3	0.87	0.93	1.09	1.3	0.97	0.84	1.07	2.38	1.55	1.13	1.35	1.16	1.11	1.05	1.75	1.48	1	0.99	1.24	1.12
9	215	0	1	1	1892.1	1.33	0.72	1.21	1.19	1.04	1.56	0.88	1.2	2.25	2.08	1.02	1.34	1.19	0.79	0.83	2.05	3.2	0			
9	215	0	1	1	1892.2	1.41	1.33	0.71	1.71	1.19	0.84	1.09	1.11	1.61	1.89	1.57	1.96	0.92	0.79	0.53	1.32	2.5	0			
9	215	0	1	1	1892.3	1.76	1.19	1.02	1.42	0.67	0.98	0.93	0.73	1.01	1.32	0.83	0.81	0.73	1.17	0.8	0.88	2.77	0			
9	215	0	1	1	1892.4	1.07	1.26	1.02	0.83	0.91	0.86	1.01	0.64	1.34	2.22	1.44	1.13	1.05	0.99	0.82	1.41	1.77	0			
9	215	0	1	1	1892.5	1.4	0.92	1	0.84	0.91	1.05	1.15	0.99	1.37	1.4	1.31	1.06	0.94	0.83	0.98	1.19	2.53	0			
9	215	0	1	1	1892.6	0.73	1.13	0.8	1.06	0.67	0.89	1.19	0.8	1.49	1.09	1.4	0.93	1.54	1.01	1.32	1.31	2.05	0			
9	215	0	1	1	1892.7	0.88	1.34	1.13	1.09	0.88	1.01	0.63	0.9	1.16	1.9	2.38	2.21	1.81	1.97	1.39	2.87	2.54	0			
9	215	0	1	1	1892.8	1.07	1.47	1	0.78	1.33	1.36	0.78	0.98	1.23	1.06	0.93	1.08	1.26	0.53	1.63	0.83	5.85	0			
9	215	0	1	1	1892.9	1.35	0.91	0.95	1.51	0.94	1.16	0.84	0.77	1.66	2.21	0.91	1.12	0.76	1.11	2.86	4.01	0				
9	215	0	1	1	1893	2.01	1.15	1.1	0.7	1.01	1.28	0.99	1.09	2.58	1.29	0.95	0.68	1.54	0.93	0.77	2.51	2.78	1	1.03	1.35	1.24
9	215	0	1	1	1893.1	1.54	1.17	0.96	1.02	1.26	1.28	0.83	1.01	1.28	1.03	0.7	1.19	0.84	1.11	1.44	1.22	1.23	0			
9	215	0	1	1	1893.2	2.34	1.05	1.15	0.79	1.03	1	0.65	0.82	1.89	1.17	1.32	1.43	1.12	0.91	1.68	1.35	2.59	0			
9	215	0	1	1	1893.3	0.72	1.87	2.91	0.93	1.87	1.39	0.82	0.79	2.5	1.98	1.27	1.86	1.33	1.25	1.55	1.52	1.82	0			
9	215	0	1	1	1893.4	1.18	2.19	0.53	1.12	1.01	1.43	1.02	0.7	1.55	0.96	0.83	1.56	1.32	1.14	1.27	0.9	1.91	0			
9	215	0	1	1	1893.5	0.92	1.89	1.29	1.11	1.17	1.06	0.99	0.78	1.51	1.21	0.92	1.11	2.68	0.76	1.34	1.16	3.28	0			
9	215	0	1	1	1893.6	1.43	1.28	1.23	1.43	1.37	0.69	0.98	1.07	1.89	2.03	1.05	1.72	0.87	0.58	1.2	0.93	1.69	0			
9	215	0	1	1	1893.7	1.63	1.54	1.14	1.11	0.91	1.32	0.68	0.82	0.95	1.34	1.02	1.7	1.04	1.46	1.44	1	3.44	0			
9	215	0	1	1	1893.8	0.82	1.28	0.96	0.76	1.13	0.63	1.29	0.66	2.68	1.19	0.73	0.85	0.76	1.06	1.05	1.36	3.63	0			
9	215	0	1	1	1893.9	0.86	1.02	0.98	1.05	0.72	0.89	1.03	0.74	1.21	1.82	1.04	1.64	1.04	0.85	1.14	2.08	2.82	0			
9	215	0	1	1	1894	0.84	1.43	1.2	1.26	0.82	0.61	0.67	0.78	1.55	1.56	0.57	0.73	1.65	0.95	2.65	1.28	2.11	1	1.13	1.33	1.24

Kuva 8. Esimerkki kohteen F 10 cm karkeusdatasta, josta on laskettu kaistan kolmelle osalle 1 m keskiarvot.

SIP toimenpidemäärä	6400	m2	Kohteen pituus (m)		9841	SIP pituus		743	3462	2191	6396
Prosenttia	0.8		Kohteen pinta-ala (m2)		29523	SIP pinta-ala		743	3462	2191	6396
MPD:n raja-arvo	1.28										
Road	Section	Carriag	Directi	Lane	Dist	Ka_L16	Ka_L10	Ka_L7-L	SIP_L16	SIP_L10	SIP_L7-
9	215	0	1	1	1891	1.05	1.30	1.07	0	1	0
9	215	0	1	1	1892	0.99	1.24	1.12	0	0	0
9	215	0	1	1	1893	1.03	1.35	1.24	0	1	0
9	215	0	1	1	1894	1.13	1.33	1.24	0	1	0
9	215	0	1	1	1895	1.02	1.29	1.22	0	1	0
9	215	0	1	1	1896	1.00	1.47	1.22	0	1	0
9	215	0	1	1	1897	1.04	1.47	1.25	0	1	0
9	215	0	1	1	1898	1.07	1.38	1.24	0	1	0
9	215	0	1	1	1899	1.02	1.33	1.23	0	1	0
9	215	0	1	1	1900	1.09	1.38	1.16	0	1	0
9	215	0	1	1	1901	1.09	1.31	1.12	0	1	0

Kuva 9. Esimerkki SIP-toimenpidesuunnitelman kohdistuksesta, jossa hyödynnetään 10 cm karkeustuloksista kaistan kolmelle osalle laskettuja 1 m keskiarvoja, halutulla MPD:n raja-arvolla.



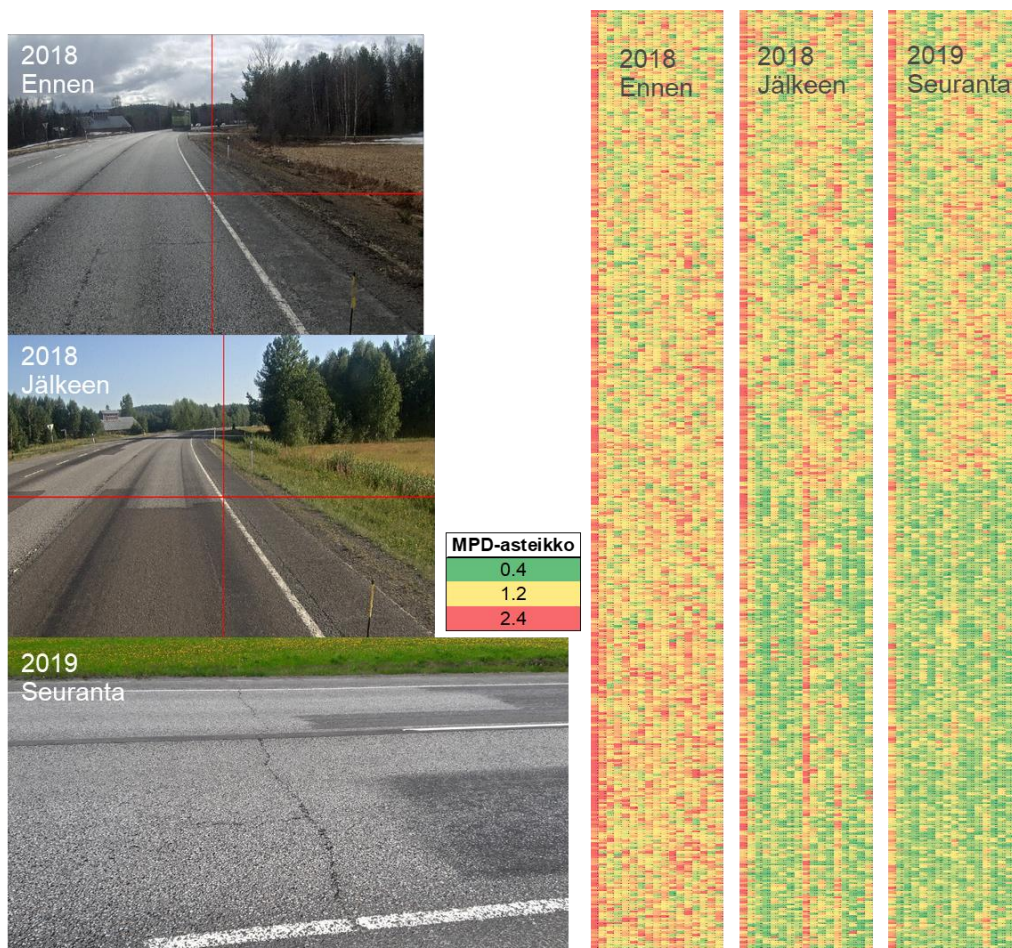
Kuva 10. Esimerkki kartalla esitetystä SIP-toimenpidesuunnitelmasta, jossa punainen väri tarkoittaa toimenpidettä.

Toinen esimerkkisuunnitelma tehtiin kohteen E yhdelle tieosalle. Myös tämä SIP-suunnitelma tehtiin kappaleessa 4.1 esitetyn jälkimmäisen laskentaperiaatteen mukaisesti. Tieosan SIP-toimenpidemääräksi arvioitiin toteuman perusteella 7 700 m², mikä oli noin kolmasosa tieosan pinta-alasta. Vastaava

MPD:n raja-arvo oli tässä tapauksessa 1,42 mm. Vaikka kohteen E SIP-toimenpidemäärä oli suhteessa suurempi kuin kohteella F, oli myös MPD:n raja-arvo selvästi suurempi kuin kohteella F. Kohde E oli siten mitattujen karkeus-tulostenkin perusteella kohdetta F karkeampi, mikä havaittiin myös silmä-määräisesti maastokatselmuksilla.

4.4 Pinnan karkeuden muutokset SIP-kohteilla

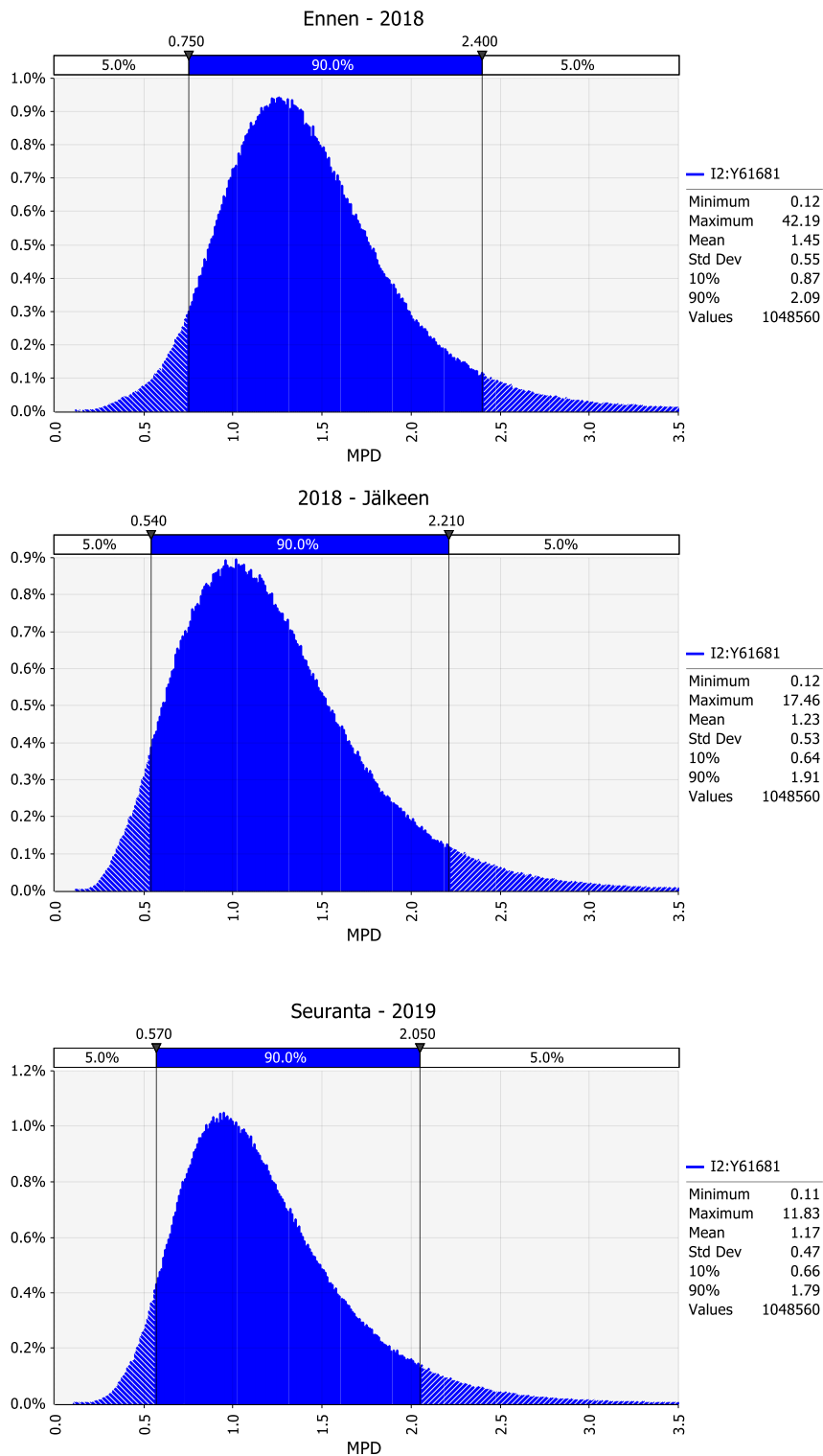
SIP-kohteiden pinnan karkeus mitattiin myös toimenpiteiden jälkeen kesällä 2018 ja keväällä 2019, jolloin voitiin verrata, miten pinnan karkeus muuttuu toimenpiteen seurauksena. Kuvassa 11 on esitetty SIP-kohteen E 10 cm MPD-tuloksia ennen toimenpidettä keväältä 2018, toimenpiteen jälkeen kesältä 2018 ja talven jälkeen keväältä 2019. MPD-tuloksista huomataan, että toimenpiteen seurauksena pinnan keskimääräinen karkeus pienenee eli aiemmin keltapuna-ina näkynyt alue muuttuu vihreäksi.



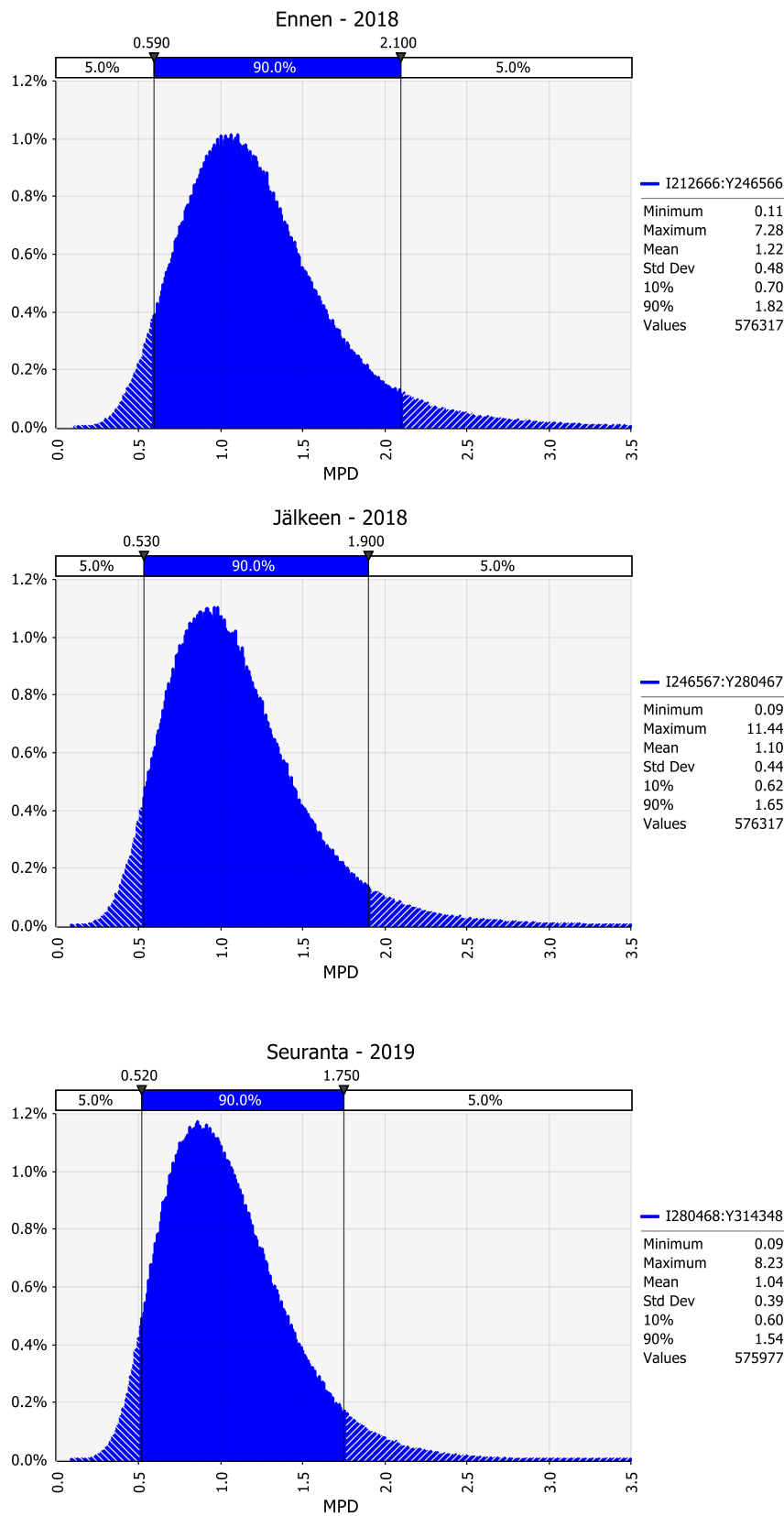
Kuva 11. Vertailua SIP-toimenpiteen vaikutuksesta pinnan karkeuteen. Vuoden 2019 valokuva on otettu maastokäynnin yhteydessä viereisen kaistan puolelta. Kuvan oikean reunan 10 cm MPD-tulokset ovat 40 m matkalta.

Kuvassa 12 on esitetty SIP-kohteen E yhden tieosan pinnan karkeuden muutos 10 cm MPD-tulosten jakauman avulla. Ennen SIP-toimenpidettä mitattujen MPD-arvojen keskiarvo oli 1,45 mm ja keskihajonta 0,55 mm, kun taas toimenpiteen jälkeen kesällä 2018 keskiarvo oli 1,23 mm ja keskihajonta 0,53 mm. Ensimmäisen

talven jälkeen kevään 2019 mittauksen perusteella MPD-arvojen keskiarvo oli 1,17 mm ja keskihajonta 0,47 mm. Tulosten perusteella kohteen pinnan keskimääräinen karkeus ja sen hajonta pienentyivät toimenpiteen seurauksena kuten tavoitteena oli, mutta vaikutus myös säilyi ensimmäinen talven yli. Vastaavasti kohteen F yhdellä tieosalla MPD-arvojen keskiarvot olivat 1,22 mm (ennen toimenpidettä), 1,10 mm (toimenpiteen jälkeen) ja 1,04 mm (talven jälkeen) sekä keskihajonnat 0,48 mm (ennen toimenpidettä), 0,44 mm (toimenpiteen jälkeen) ja 0,39 mm (talven jälkeen). Siten myös tällä kohteella tieosan keskimääräinen karkeus pieneni toimenpiteen seurauksena ja vaikutus säilyi ensimmäisen talven jälkeenkin. Molempien kohteiden jälkikatselmuksissa kesällä 2019 pinnan karkeuden muutokset havaittiin myös silmämääräisesti eli kohteiden pahiten purkautuneet kohdat oli paikattu. Erityisesti ennen toimenpidettä karkeamman kohteen E yleisilme oli muuttunut tiiviimmäksi toimenpiteen seurauksena.



Kuva 12. Esimerkki SIP-kohteen E yhden tieosan pinnan karkeuden muutoksesta 10 cm MPD-tulosten histogrammin ja muutamien tilastollisten tunnuslukujen avulla ennen toimenpidettä (yllä), toimenpiteen jälkeen (keskellä) ja ensimmäisen talven jälkeen (alla).



Kuva 13. Esimerkki SIP-kohteen F yhden tieosan pinnan karkeuden muutoksesta 10 cm MPD-tulosten histogrammin ja muutamien tilastollisten tunnuslukujen avulla ennen toimenpidettä (yllä), toimenpiteen jälkeen (keskellä) ja ensimmäisen talven jälkeen (alla).

5 Vanhan päällysteen pinnan karkeuden vaikutus uuteen päällysteeseen REM-kohteilla

5.1 Karkeusmittausmenetelmän hyödyntäminen REM-kohteilla

Tämän projektin yhtenä tavoitteena oli tarkastella, miten vanhan päällysteen karkeat, purkautumisalttiit tai mahdollisesti jo purkautuneet kohdat vaikuttavat REM-käsittelyn jälkeiseen uuteen päällysteeseen. Tätä varten valituilta kesän 2018 REM-kohteilta mitattiin makrokarkeudet ennen päällystystä ja päällystysjälkeen. Lisäksi osalle kohteista suoritettiin seurantamittaukset keväällä 2019. Mitattuja makrokarkeustuloksia ja niiden hyödynnettävyyttä haluttiin täydentää maastokatselmuksilla sekä niiden aikana kerätyillä silmämääräisillä arvioinneilla vanhan ja uuden päällysteen pinnan karkeudesta. Maastokatselmuksen aikana oli karttasovelluksen avulla mahdollista tarkastella mitattuja karkeustuloksia ja löytää myös niiden perusteella pinnaltaan poikkeavia kohtia. Lisäksi jokaiselta kohteelta oli paikannettu etukäteen karkeustulosten perusteella poikkeavia kohtia silmämääräistä arviointia varten. Maastokatselmuksia jatkettiin kesällä 2019, jolloin voitiin tarkastella päällysteen kuntoa ja karkeutta ensimmäisen talven jälkeen.

Makrokarkeustulosten tarkastelussa keskityttiin hyödyntämään 10 cm MPD-tuloksia koko poikkiprofiilin leveydeltä. Alkuun aineistolle tehtiin visuaalista tarkastelua, mutta aineiston laajuudesta johtuen päädyttiin hyödyntämään myös 10 cm karkeustuloksista laskettuja tunnuslukuja. Yhtenä tarkasteltavana muuttujana käytettiin MPD_1.75-nimistä muuttujaa, johon lasketaan 10 cm karkeustuloksista koko poikkiprofiilin leveydeltä 1,75 mm suuremmat MPD:n arvot ja tulokset esitetään pinta-alana tulosten tarkasteluväliä kohden (esimerkiksi m²/10 m). Lisäksi kohteilta tarkasteltiin 10 cm MPD-tulosten jakautumia, koska työn edetessä MPD_1.75-muuttujan laskennassa käytetty yksi kiinteä 1,75 mm raja-arvo osoittautui haasteelliseksi yksistään kuvaamaan pinnan karkeudessa tapahtuneita muutoksia.

5.2 Havaintoja valituilta REM-kohteilta

Vanhan päällysteen karkeuden vaikutuksen tarkastelua varten valittiin neljä REM-kohdetta, joille tehtiin mittauksia ja maastokatselmuksia ennen päällystystä sekä päällystämisen jälkeen. REM-kohteiden maastokatselmuksissa ennen toimenpidettä kesällä 2018 huomioitiin ja kirjattiin muistiin muutamia silmämääräisesti pinnaltaan karkeita tai purkautuneita kohtia. Tarkempaan tarkasteluun otettiin eri REM-kohteilta yksittäisiä tieosia ja niiltä maastokatselmuksen yhteydessä kirjatut havainnot. Lisäksi osalle kohteista tehtiin seurantamittaukset ja jälkikatselemukset vuonna 2019. Kohteista on käytetty tunnuksia A-D ja ne ovat samoja kohteita, joille tehtiin valuasfalttipaikkojen pinta-alojen laskentaa (Kappale 3). Kohteilta A-D kerätyjä havaintoja ja tuloksia on esitetty seuraavissa kappaleissa.

5.2.1 Kohde A

Kohteen A maastokatselmus tehtiin 7.6.2018, jolloin sää oli sateinen. Kohde oli päällystetty edellisen kerran vuonna 2011 (AB 16/80 MPKJ). Kohteelta kirjattiin ylös seuraavat yleiset havainnot:

- Ei toteutukseen vaikuttavia purkaumia, harvoja kohtia tai reikiä
- VA-paikat jyrsitään pois ennen REM-käsittelyä
- Kohteella uraa, uran pohjat pääosin karkeita, joitakin purkaumia ja reikiä sekä halkeamia.

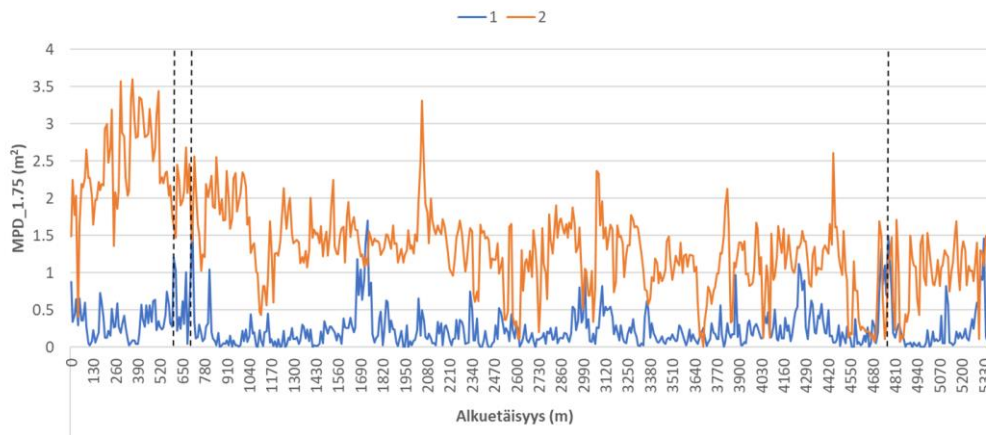
Maastokatselmuksen yhteydessä silmämääräisesti tehdyt tarkemmat havainnot pinnan karkeista kohdista ennen toimenpidettä on kirjattu taulukkoon 2 kohteen A yhdeltä tieosalta. Uuden pinnan työmenetelmänä oli vuonna 2018 REM (AB 16/22).

Taulukko 2. Kohteen A yhden tieosan maastokatselmuksen havainnot karkeista kohdista ennen toimenpidettä 2018.

<i>Alkuetäisyys (m)</i>	<i>Havainto</i>
604	Purkaumaa
704	Purkaumaa / harvaa
4790	Karkeaa / purkaumaa, esivalittu kohta

Kuvassa 14 on esitetty kohteen A yhden tieosan pinnan karkeuden tuloksia muuttujan MPD_1.75 avulla vuodelta 2018 ennen toimenpidettä ja toimenpiteen jälkeen. MPD_1.75-muuttuja kuvaa makrokarkeuden 10 cm tuloksista raja-arvon 1,75 mm ylittävien tulosten pinta-alojen summaa raportointiväliä kohden ($\text{m}^2/10 \text{ m}$). AB-päällysteellä makrokarkeuden 10 cm tuloksissa on tyypillisesti vähän 1,75 mm ylittäviä arvoja, jolloin pinta-alojen summat ovat melko pieniä verrattuna SMA-päällysteiden tuloksiin (Virtala et al. 2019). Muuttujan avulla on kuitenkin mahdollista vertailla pinnan karkeuden suhteellista kehitystä ajan ja matkan suhteen. MPD_1.75-muuttujan avulla esitetyille karkeustuloksille on tyypillistä, että vanhan päällysteen pinnan karkeus on keskimäärin pienempää kuin melko pian päällystämisen jälkeen mitatun uuden päällysteen.

Karkeustuloksista ennen maastokatselmusta havaitut karkeat kohdat (taulukko 2), jotka todennettiin maastokäynnillä, näkyvät ennen toimenpidettä tehtyjen mittausten tuloksissa paikallisina maksimikohtina ja ne on merkitty kuvaan 14 mustilla katkoviivoilla. Vastaavat kohdat eivät kuitenkaan näy toimenpiteen jälkeen tehdyissä mittauksissa erityisen suurina arvoina eli karkeina kohtina. Tästä voidaan päätellä, että tällä tieosalla vanhan päällysteen karkeus ei merkittävästi vaikuttanut uuden päällysteen pinnan karkeusominaisuuksiin. Kesän 2018 tulosten perusteella kohteelle A ei tehty seurantamittauksia eikä jälkikatselmusta vuonna 2019.



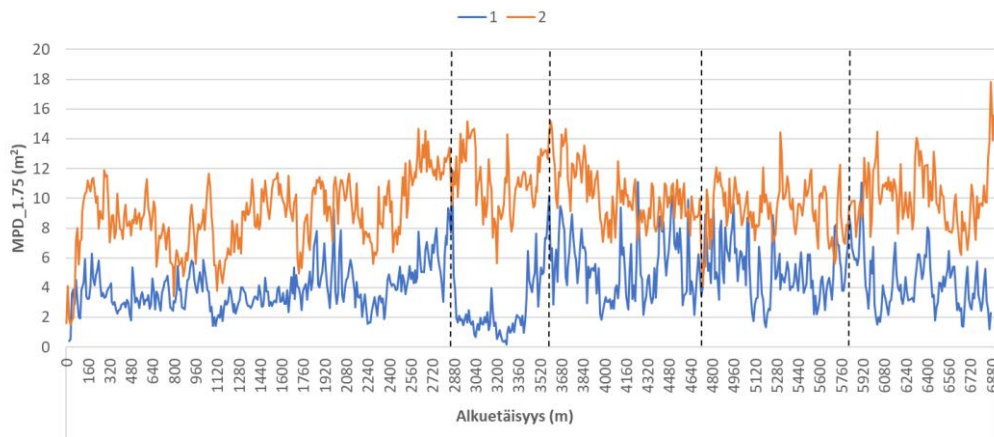
Kuva 14. Kohteen A yhden tieosan pinnan karkeuden (MPD_1.75) tulokset ennen toimenpidettä (merkitty kuvaan sinisellä, 1) ja toimenpiteen jälkeen (merkitty kuvaan oranssilla, 2) 10 m raportointivälillä. Mustilla katkoviivoilla on merkitty taulukon 2 karkeat kohdat.

5.2.2 Kohde B

Kohteen B päällyste oli vuodelta 1994 (SMA 16/60 MPK), jota oli vähäisesti korjattu vuonna 2013 (UREM). Uuden pinnan työmenetelmänä oli vuonna 2018 REM (SMA 16/29). Kohteen B maastokatselmus tehtiin 7.6.2018 voimakkaassa vesisateessa. Kohteelta kirjattiin seuraavat yleiset havainnot:

- Kohteella paljon valupaikkoja, osittain hyvin kuluneita
- Kulutuskerros kulunut osittain puhki
- Paljon uraa, karkeat kohdat vastasivat suunnassa 2 mitattuja kohtia.

Maastokatselmuksen yhteydessä ei säästä johtuen pystytty tarkemmin kirjamaan havaintoja karkeista tai purkautuneista kohdista, vaan vanhan päällysteen karkeushavaintoja tehtiin myöhemmin erillisellä sovelluksella. Muutamien näin kirjattujen karkeushavaintojen paikkoja on merkitty kuvaan 15 mustilla katkoviivoilla. Myöskään tällä kohteella ei havaittu, että vanhan päällysteen karkeimmat kohdat olisivat selkeästi vaikuttaneet uuden pinnan karkeusominaisuuksiin. Kohteelle B ei tehty seurantamittauksia eikä jälkikatselmusta vuonna 2019.



Kuva 15. Kohteen B yhden tieosan pinnan karkeuden (MPD_1.75) tulokset ennen toimenpidettä (merkitty kuvaan sinisellä, 1) ja toimenpiteen jälkeen (merkitty kuvaan oranssilla, 2) 10 m raportointivälillä. Mustilla katkoviivoilla on merkitty kohteelta havaittuja karkeita kohtia.

5.2.3 Kohde C

Kohde C oli edellisen kerran päällystetty vuosina 2006–2007 (alkuosa SMA 16/80 MPKJ vuonna 2007 ja vähäinen UREM-menetelmä vuonna 2016 sekä loppuosa SMA 16/80 MPKJ vuonna 2006). Uuden pinnan työmenetelmänä oli vuonna 2018 REM (SMA 16/34). Kohteelle tehtiin maastokatselmus 25.6.2018. Sää oli pilvinen. Kohteella C tehtiin seuraavat havainnot:

- Kohteella paljon erilaista vauriota: poikkikatkoja, halkeamia ajourissa, purkaumaa kaistalla ja keskisaumalla sekä reikiä. Vaurioita paikattu pääosin valuasfaltilla, osittain asfalttimassalla.
- Kohteelle tehdyt urapaikkaukset näkyivät karkeusdatassa poikkeavina, osasta oli havaittavissa kivien irtoamista.
- Vuoden 2006 päällyste paremmassa kunnossa kuin vuoden 2007 päällyste.

Maastokatselmuksen yhteydessä silmämääräisesti tehdyt tarkemmat havainnot pinnan karkeista kohdista ennen toimenpidettä on kirjattu taulukkoon 3 kohteen C yhdeltä tieosalta. Taulukon 3 havaintoja vastaavat kohdat on poimittu kuvaan 16 kevään 2018 PTM-mittauksen yhteydessä otetuista valokuvista. Kyseisissä kohdissa oli joko osittain tai koko kaistan leveydeltä harvaa tai purkautunutta päällystettä, joka oli osittain kehittynyt reikiintymiseksi. Kohteen C pinnan karkeustulosten kehitystä on havainnollistettu muuttujan MPD_1.75 avulla (kuva 17), jossa ennen päällystystä tehdyissä mittauksissa havaitut purkautuneet kohdat näkyvät paikallisina maksimikohtina. Tieosan tuloksissa on näkyvissä myös muita korkeita arvoja, mutta ennen päällystystä mitatut karkeat kohdat eivät näytä sijoittuvan samoihin paikkoihin kuin päällystysen jälkeen tehtyjen mittausten korkeimmat tulokset. Päällystysen jälkeen tehdyissä mittauksissa pinnan karkeus on keskimäärin suurempaa kuin ennen toimenpidettä, mutta jo ensimmäisen talven jälkeen pinnan karkeus näyttää saavuttaneen lähes saman tason kuin ennen toimenpidettä. Kohteelle suoritettiin myös seurantamittaukset ja jälkikatselmus vuonna 2019. Jälkikatselmuksella todettiin yleisenä havaintona, että kohde C vaikutti pinnan

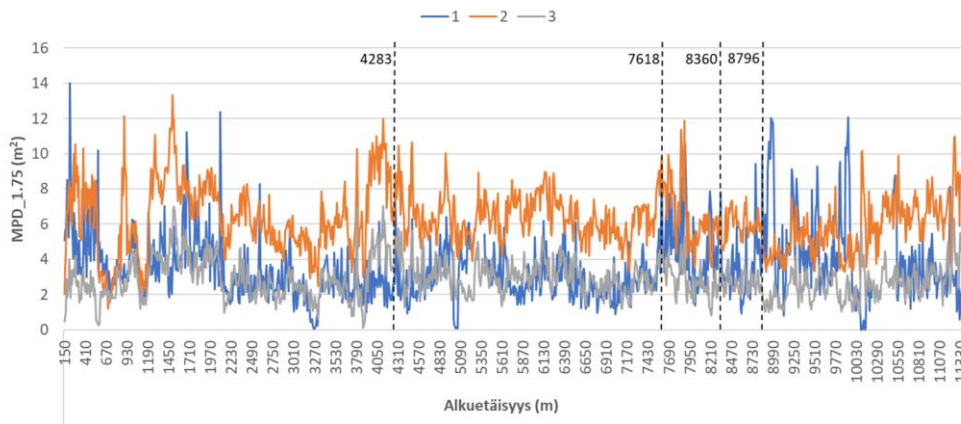
karkeudeltaan normaalisti onnistuneelta kohteelta, eivätkä havaitut karkeat kohdat näyttäneet vaikuttaneen lopputulokseen. Tosin kohteella oli käytetty melko suurta lisämassan määrää.

Taulukko 3. Kohteen C yhden tieosan maastokatselmuksen havainnot karkeista kohdista.

<i>Alkuetäisyys (m)</i>	<i>Havainto</i>
4283	<i>Purkaumaa</i>
7618	<i>Oikea reunaviiva / koko kaista purkaumaa / halkeamaa</i>
8360	<i>Vasen ajoura / koko kaista purkaumaa</i>
8796	<i>Purkautuvaa lajittumaa / reikää</i>

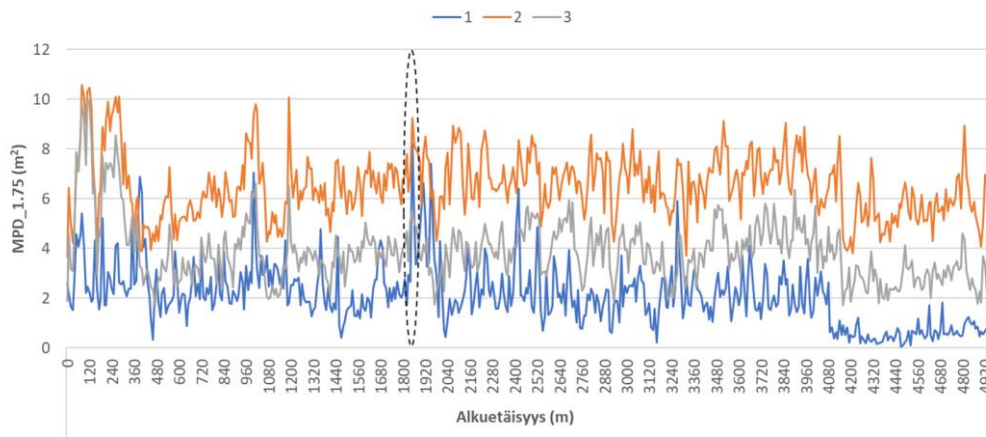


Kuva 16. PTM-mittauksen yhteydessä otetut kuvat kohteen C yhden tieosan taulukossa 3 esitetyistä karkeista ja purkautuneista kohdista.

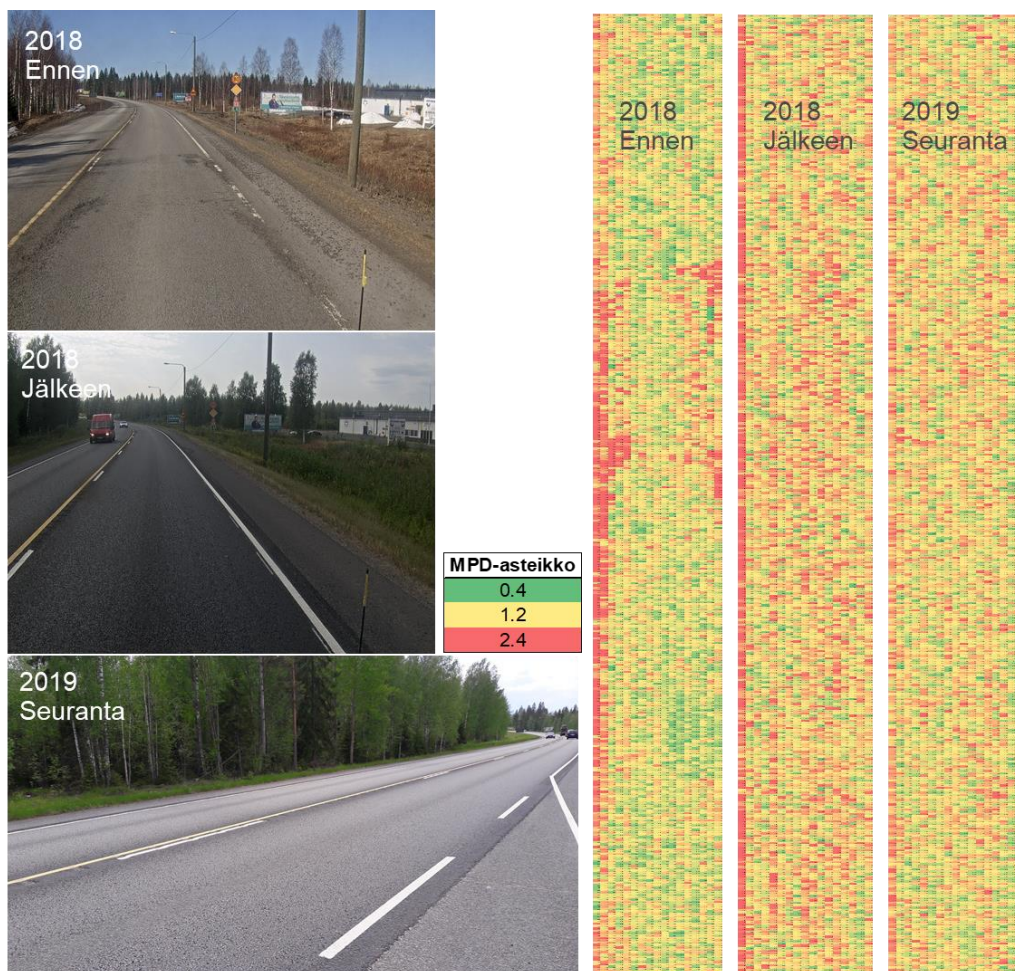


Kuva 17. Kohteen C yhden tieosan pinnan karkeuden (MPD_1.75) tulokset ennen toimenpidettä (merkitty kuvaan sinisellä, 1), toimenpiteen jälkeen kesältä 2018 (merkitty kuvaan oranssilla, 2) ja keväältä 2019 (merkitty kuvaan harmaalla, 3) 10 m raportointivälillä. Mustilla katkoviivoilla on merkitty taulukon 3 ja kuvan 16 karkeat kohdat.

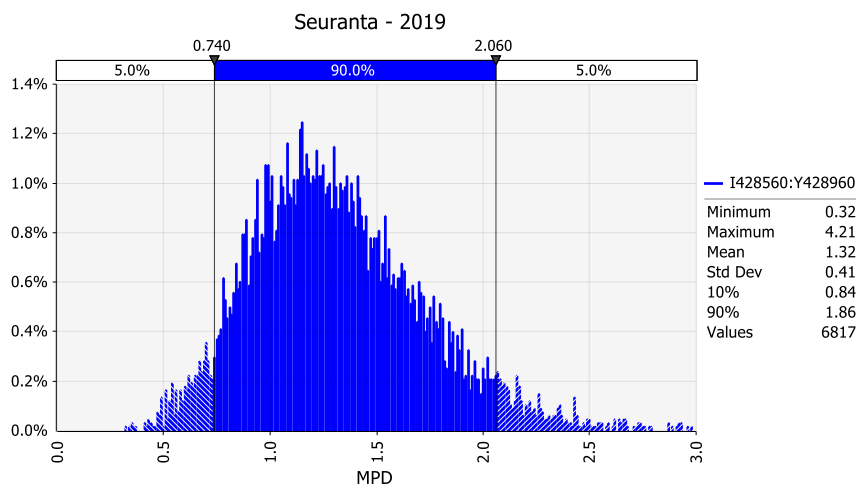
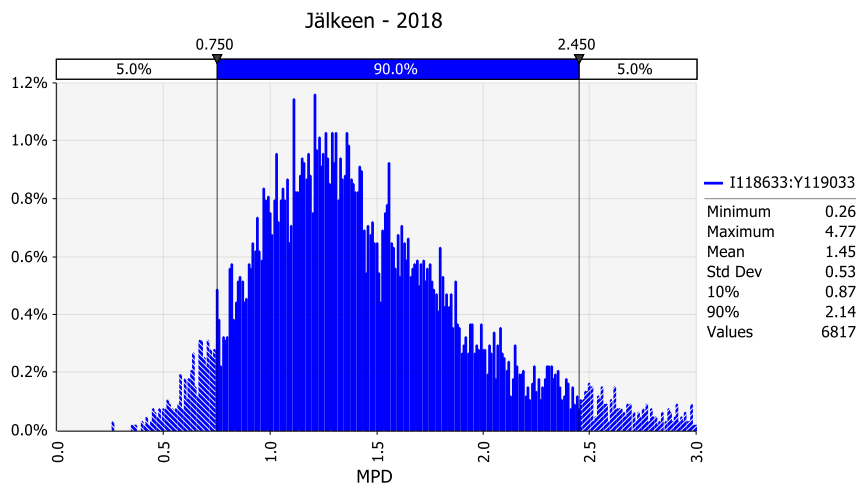
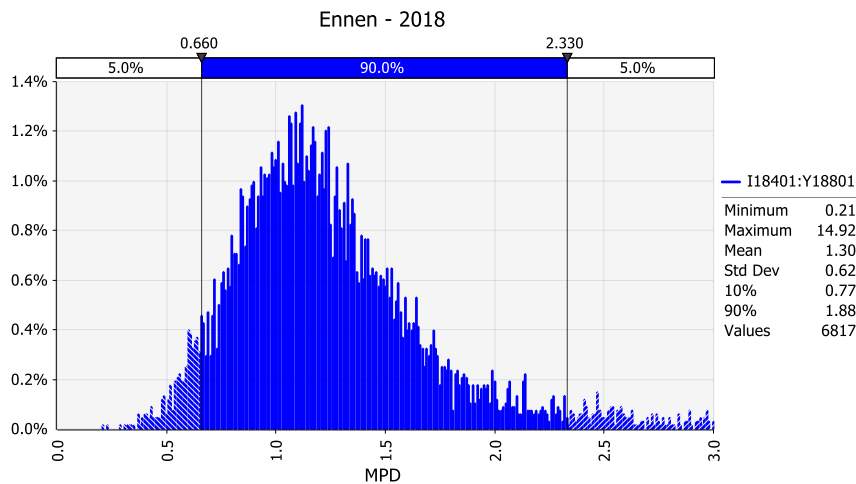
Kohteen C toiselta tieosalta otettiin lisäksi tarkempaan tarkasteluun jakso, jossa ennen päällystystä oli havaittu selkeästi purkautunut kohta noin etäisyydellä 1860 m (kuvat 18–20). Kyseinen kohta vaikutti maastokatselmuksen yhteydessä purkautumaan lähteneeltä kuormanvaihtokohdalta ja se erottui MPD_1.75-karkeustuloksissa kyseisen tieosan maksimina sekä tarkemmissa 10 cm MPD-tuloksissa karkeana punaisena alueena (kuva 19). Kyseisen kohdan 10 cm MPD-arvot 40 metrin matkalta (alkuetäisyydeltä 1840–1880 m) on esitetty myös histogrammin ja muutamien tilastollisten tunnuslukujen avulla kuvassa 20. Jälkikäteen tehdyissä mittauksissa kyseisellä jaksolla esiintyy myös korkeita MPD-arvoja, mutta ne ovat jakaantuneet tasaisemmin alueelle, eikä kohde erotu koko tieosan tarkastelussa erityisen karkeana alueena. Vuoden 2019 katselmuksessa ei voitu silmämääräisesti todeta, että alue erottuisi muusta kohteesta poikkeavana tai erityisen karkeana. Sen sijaan kyseisen tieosan alussa noin etäisyydellä 300 m päällystämisen jälkeen havaittavissa oleva karkeampi jakso lukeutuu karkeuden kehittymisen perusteella seurattaviin kohtiin, jossa pinnan keskimääräinen karkeus ei ole pienentynyt ensimmäisen talven jälkeenkään.



Kuva 18. Kohteen C yhden tieosan pinnan karkeuden (MPD_1.75) tulokset ennen toimenpidettä (merkitty kuvaan sinisellä, 1), toimenpiteen jälkeen kesältä 2018 (merkitty kuvaan oranssilla, 2) ja keväältä 2019 (merkitty kuvaan harmaalla, 3) 10 m raportointivälillä. Ympyröitynä ennen päällystystä havaittu karkea kohta, jonka tarkempia tuloksia on esitetty kuvassa 19.



Kuva 19. Kohteen C yhdeltä tieosalta ennen päällystystä havaitun karkean kohdan seurantaa. Vuoden 2019 valokuva on otettu maasto-käynnin yhteydessä. Kuvan oikean reunan 10 cm MPD-tulokset ovat 40 m matkalta (Aet 1840-1880 m).



Kuva 20. Pinnan karkeuden muutos 10 cm MPD-tulosten histogrammin ja muutamien tilastollisten tunnuslukujen avulla ennen toimenpidettä (yllä), toimenpiteen jälkeen (keskellä) ja ensimmäisen talven jälkeen (alla) kuvan 19 kohtaa vastaavalta matkalta (Aet 1840–1880 m).

5.2.4 Kohde D

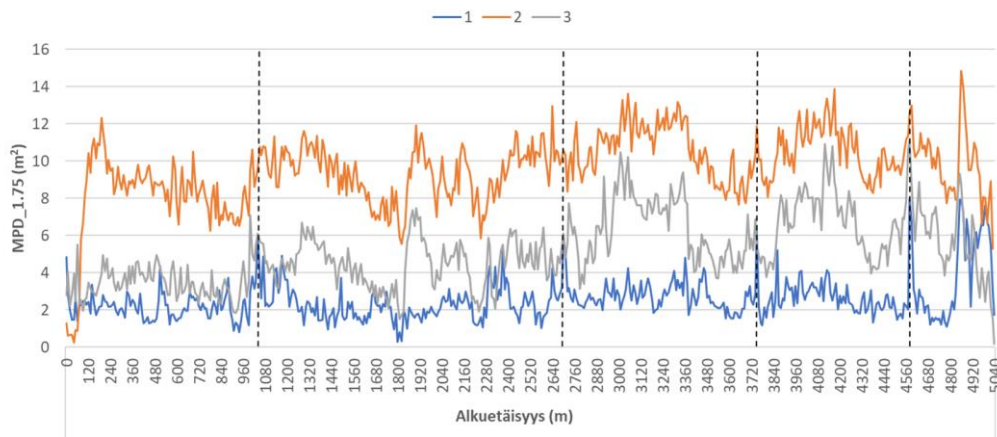
Kohteelle D suoritettiin maastokatselmus 25.6.2018 pilvisessä säässä. Kohteen päällyste oli vuodelta 2002 (SMA 16/100 MPKJ) ja uuden pinnan työmenetelmänä oli vuonna 2018 REM (SMA 16/28). Kohteella tehtiin seuraavat havainnot:

- Kohteella melko paljon erilaista vauriota: poikkikatkoja, purkaumaa kaistalla ja keskisaumalla sekä reikiä.
- Vaurioita paikattu pääosin valuasfaltilla, osittain asfalttimassalla.

Kohteen D yhdeltä tieosalta tarkemmin kirjatut havainnot on esitetty taulukossa 4. Vastaavan tieosan karkeustulokset on esitetty kuvassa 21, johon on merkitty katkoviivoilla maastokatselmuksen perusteella havaitut karkeat kohdat. Noin etäisyydellä 4590 m ennen toimenpidettä havaittu purkautunut kohta, joka erottuu karkeustuloksissa korkeana arvona myös toimenpiteen jälkeisissä seurantamittauksissa, otettiin tarkempaan tarkasteluun (kuvat 22–24). Tarkasteluun valittiin väli 4560–4600 m, koska REM-käsittelyn suunta oli suuremmasta alkuetäisyydestä pienempään. Seurantamittausten tulosten ja katselmuksen silmämääräisten havaintojen perusteella vaikutti, että kyseisessä kohdassa pinnan avoimuus tai karkeus on myös toimenpiteen jälkeen poikkeavaa ja siten seurattavalla tasolla. Erityisesti keväällä 2019 mitatuissa tuloksissa havaitaan kyseisessä kohdassa korkeita MPD-arvoja alueen 95 % prosenttipisteen ollessa 2,41 mm, kun vastaava tulos kohteen C tarkemmin tarkastellussa kohteessa oli 2,06 mm. Uuden pinnan avoimuuteen vaikuttavia tekijöitä, kuten työn aikaiset olosuhteet, on kuitenkin useita, eikä niitä selvitetty tämän työn puitteissa.

Taulukko 4. Kohteen D yhden tieosan maastokatselmuksen havainnot karkeista kohdista.

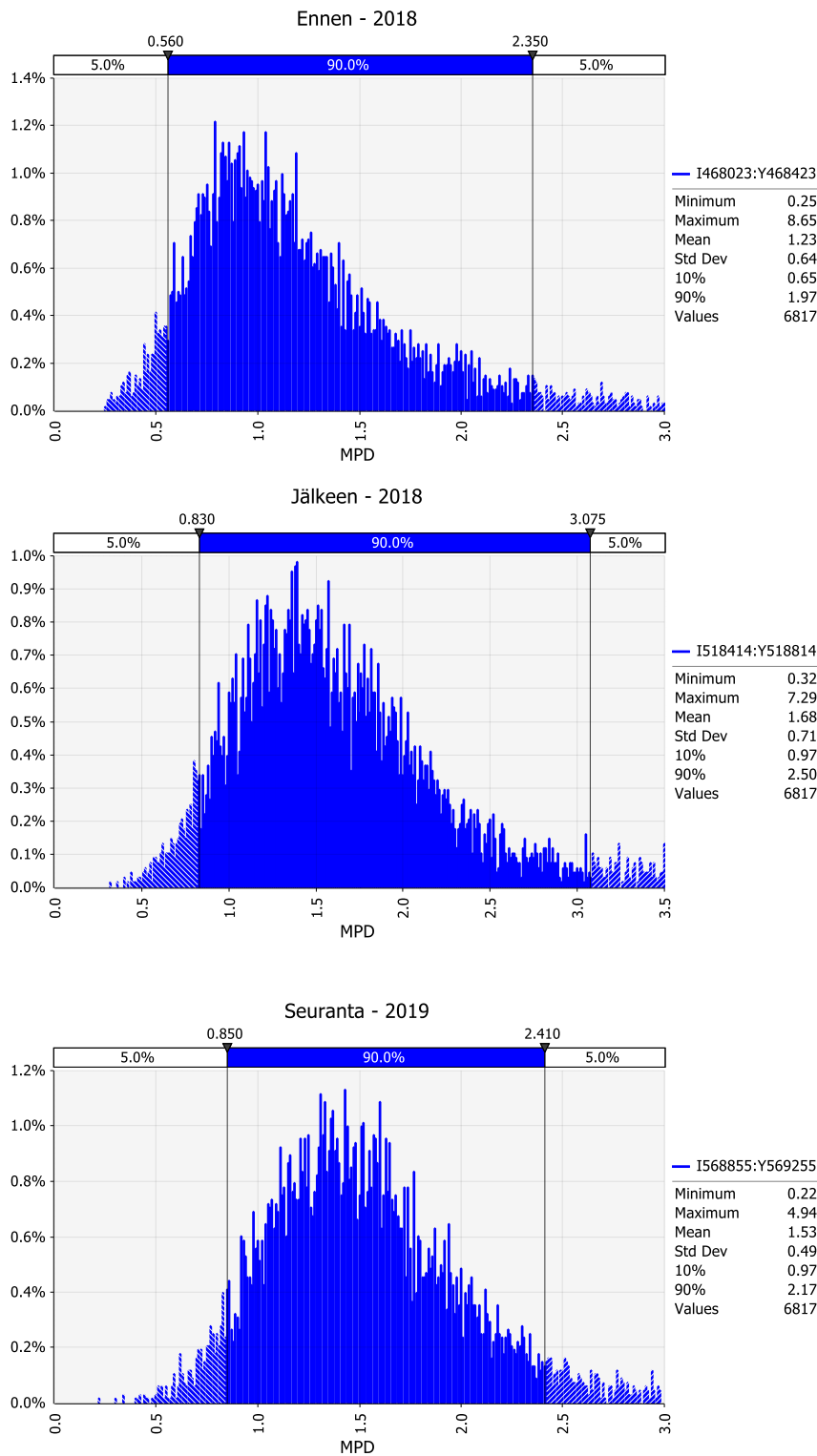
<i>Alkuetäisyys (m)</i>	<i>Havainto</i>
1040	<i>Reikä ja harvaa kaistalla, halkeama</i>
2700	<i>Reikiä, harvaa, purkaumaa</i>
3750	<i>Reikiä ja purkaumaa</i>
4590	<i>Reikiä ja purkaumaa</i>



Kuva 21. Kohteen D yhden tieosan pinnan karkeuden (MPD_1.75) tulokset ennen toimenpidettä (merkitty kuvaan sinisellä, 1), toimenpiteen jälkeen kesältä 2018 (merkitty kuvaan oranssilla, 2) ja keväältä 2019 (merkitty kuvaan harmaalla, 3) 10 m raportointivälillä. Mustilla katkoviivoilla on merkitty taulukon 4 karkeat kohdat.



Kuva 22. Kohteen D yhdeltä tieosalta ennen päällystystä havaitun karkean kohdan seuranta. Vuoden 2019 valokuva on otettu maasto-käynnin yhteydessä. Kuvan oikean reunan 10 cm MPD-tulokset ovat 40 m matkalta (Aet 4560-4600 m).



Kuva 23. Pinnan karkeuden muutos 10 cm MPD-tulosten histogrammin ja muutamien tilastollisten tunnuslukujen avulla ennen toimenpidettä (yllä), toimenpiteen jälkeen (keskellä) ja ensimmäisen talven jälkeen (alla) kuvan 22 kohtaa vastaavalta matkalta (Aet 4560–4600 m). Huomaa keskimäisen kuvan MPD-asteikko verrattuna muihin kuviin.

5.3 Johtopäätöksiä REM-kohteiden havainnoista

REM-kohteiden pinnan karkeuden tarkasteluissa ennen toimenpidettä, sen jälkeen samana kesänä sekä ensimmäisen talven jälkeen havaittiin, että mitatut karkeustulokset vastaavat melko hyvin silmämääräisesti tehtyjä havaintoja. Pääsääntöisesti mittaustulosten ja silmämääräisten havaintojen perusteella vaikutti, etteivät yksittäiset karkeat tai purkautuneet kohdat päällysteessä vaikuttaneet REM-käsittelyn jälkeiseen pintaan. Kuitenkin joissain tapauksissa havaittiin myös päinvastaista eli uuden pinnan karkeus vaikutti koko kohteen pintaa avoimemmalta kohdassa, jossa oli ennen REM-käsittelyä havaittu purkaumaa.

Karkeuden tarkasteluissa yhtenä haasteena oli kertyvän aineiston määrä, jolloin aineistojen tarkastelu oli aikaa vievää. Työn edetessä alkoi kehittyä tapoja hyödyntää tuloksia nopeammin, mutta jatkossa tavoitteena on edelleen löytää tunnuslukuja tai raja-arvoja, jotka kuvaavat parhaiten pinnan karkeudeltaan poikkeavia kohtia ja jotka siten parantaisivat karkeustulosten hyödynnettävyyttä.

6 Päällysteen karkeustiedon hyödyntäminen takuuajan seurannassa

Projektin edetessä päällysteen karkeustiedon hyödyntämisen tarkasteluihin otettiin mukaan myös takuun alaisia kohteita, joiden takuu aika oli päättymässä. Tyypillisesti uuden päällysteen takuuajan seuranta toteutetaan silmämääräisesti havainnoimalla, eikä mittauksilla tuotettua tietoa ole käytettävissä. Tarkastelun tavoitteena oli selvittää, voiko mittauksilla tuotetun karkeustiedon avulla tunnistaa ja luokitella takuuajana korjaustoimenpiteitä tarvitsevia kohtia. Takuuajana mahdollisesti toteutettavia karkean, avoimen tai jopa reikiintyneen päällysteen korjaustoimenpiteitä ovat sirotepintausta tai paikalliset päällysteen paikkaukset ja uusimiset. Siten takuukohteiden tarkasteluissa hyödynnettiin SIP-toimenpiteen suunnitteluun kehitettyä jälkimmäistä menetelmää, joka on kuvattu kappaleessa 4.1.

Tarkasteltavia tieosuuksia oli yhteensä kolme ja niiden kaikkien päällystetyyppinä oli SMA 16. Kohteen G pituus oli noin 11 km, kohteen H noin 6 km ja kohteen I pituus oli noin 5 km.

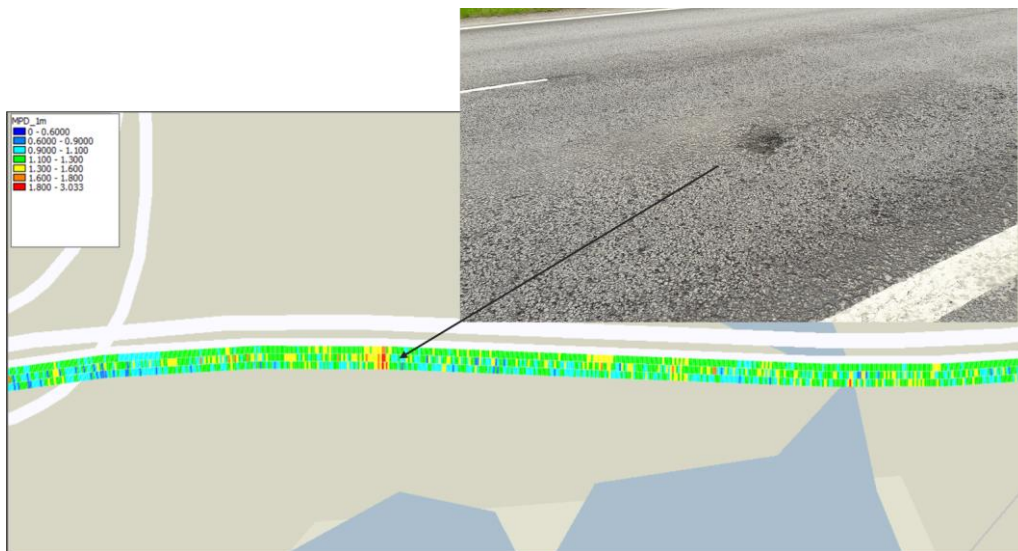
Tarkasteluun valituilta takuukohteilta mitattiin ja tuotettiin karkeusdata PTM-mittauksilla keväällä 2019. Kohteiden 10 cm:n MPD-tuloksista laskettiin edelleen poikkisuunnassa kaistan kolmelle osalle ja pituussuunnassa 1 m jaksoille keskiarvot kuten SIP-toimenpidesuunnitelmaa tehtäessä. Tulosten perusteella tehtiin ensin kohteiden alustavaa tarkastelua, jota täydennettiin maastokatselmuksella alkukesällä 2019. Karkeustulosten tarkasteluun käytettiin karttasovellusta, jonka avulla voitiin poimia eri kohteiden karkeudeltaan poikkeavia jaksoja maastokatselmuksen yksityiskohtaisempaa tarkastelua varten. Maastokatselmusten tavoitteena oli kerätä kokemuksia siitä, miten hyvin karkeustulokset korreloivat visuaalisten havaintojen kanssa. Lisäksi tavoitteena oli etsiä karkeustulosten visualisointiin raja-arvoja, joiden avulla mittaamalla tuotettuja karkeustuloksia voitaisiin tulevaisuudessa hyödyntää takuukohteiden seurannassa.

Kohteen G maastokatselmuksessa havaittuja pinnan karkeudeltaan poikkeavia kohtia on esitetty kuvassa 24. Kuvan 24 keskellä näkyvä koko kaistan levyinen karkea jakso luokiteltiin silmämääräisesti korjattavaksi (SIP/laatikkojyrsintä) ja se näkyy kartalla 1 m karkeustuloksissa punaisena alueena, jonka MPD-arvot ovat keskimäärin yli 1,8 mm ja jopa yli 2,0 mm. Kuvan 24 alareunassa näkyvä sillan alla oleva kohta luokiteltiin maastokatselmuksessa karkeudeltaan poikkeavaksi (korjaustoimenpiteenä SIP) erityisesti ajourien kohdalta. Kartalla vastaava jakso näkyy punaoranssina eli MPD-arvot ovat yli 1,6 mm ja jopa yli 1,8 mm. Kartan yläreunassa, pikemminkin keltaoranssina kuin punaoranssina, näkyvä ympyröity jakso (Kuva 24) luokiteltiin sen sijaan silmämääräisesti ei korjaustoimenpiteitä vaativaksi, minkä perusteella pinnan karkeudeltaan korjattavien kohtien raja-arvo asettuisi noin 1,8 mm.



Kuva 24. Kohteen G karkeudeltaan poikkeavia jaksoja, jotka näkyvät kartalla punaisina ja karttaan ympyröity keltaoranssina näkyvä jakso, joka silmämääräisesti ei vielä ollut karkeuden perusteella korjattava.

Kohteella H havaittiin käytännössä yksittäinen korjattava kohta, jossa pinnan karkeus oli kehittynyt reikiintymiseksi (Kuva 25). Kyseisessä kohdassa 1 m MPD-arvot olivat jopa yli 2 mm.



Kuva 25. Kohteen H pinnaltaan karkea ja reikiintynyt kohta, joka näkyy kartalla punaisena.

Kohteen I katselmuksessa erottui useita pinnaltaan karkeita jaksoja, jotka luokiteltiin takuuaikana korjattaviksi (SIP/laatikkojyrsintä). Nämä erottuvat kartalla punaoransseina ja niiden MPD-arvot vaihtelivat 1,6–1,8 mm ja jopa yli 2,0 mm (Kuva 26). Karkeiden kohtien tarkka rajaaminen ja luokittelu oli kuitenkin silmämääräisestikin haastavaa, koska kohteen pinta vaihteli melko karkeasta

karkeaan pitkilläkin jaksoilla, mutta karkeuden muutoskohdat eivät olleet kaikissa kohdissa selkeästi määritettävissä.



Kuva 26. Kohteen I pinnaltaan karkeita jaksoja, jotka näkyvät kartalla punaoransseina.

Kohteiden G-I keskimääräiset 1 m MPD-arvot eivät poikenneet toisistaan suuresti, mutta kohteiden G ja I 95 % sekä 99 % prosenttipisteissä oli eroa verrattuna kohteeseen H (Taulukko 5). Kohteen H 99 % prosenttipiste oli 1,45 mm, kun taas kohteilla G ja I se oli yli 1,6 mm. Näiden kohteiden erilaisia karkeustuloksia tukevat myös silmämääräiset havainnot. Maastokatselmuksen havaintojen perusteella kohteella H oli vähiten pinnaltaan selkeästi karkeita jaksoja, kun taas kohteilla G ja I pinnaltaan karkeita kohtia oli useampia.

Taulukko 5. Kohteiden G-I 1 m MPD-arvojen (mm) tilastollisia tunnuslukuja.

Kohde	Keskiarvo	Keskihajonta	Prosenttipiste, 95 %	Prosenttipiste, 99 %
G	1,15	0,19	1,48	1,65
H	1,13	0,11	1,33	1,45
I	1,21	0,18	1,50	1,66

Maastokatselmuksen kokemusten perusteella mittaamalla tuotetut päällysteen karkeustulokset ovat samansuuntaisia kuin silmämääräisesti tehdyt havainnot pinnan karkeudesta. Karkeustulosten hyödynnettävyyden kannalta on kuitenkin tarpeellista pystyä määrittämään raja-arvoja, joiden avulla voitaisiin takuuajana keskittyä seuraamaan esimerkiksi vain pinnaltaan kaikkein poikkeavimpia kohtia. Tässä projektissa tutkittujen koekohteiden perusteella 1 m MPD-arvojen raja-arvona voisi olla 1,6–1,8 mm. Kuitenkin koekohteiden määrän ollessa melko pieni ja rajoittuen vain yhteen päällystetyyppiin tarvitaan lisää kokemuksia raja-arvojen tarkempaa määrittystä varten.

7 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tässä työssä tarkasteltiin ja kehitettiin menetelmiä PTM-mittauksen yhteydessä saatavan karkeustiedon hyödyntämiseksi vanhojen päällysteiden toimenpidesuunnittelun lähtötietona. Työssä kehitettiin menetelmät REM-kohteiden valuasfalttipaikkojen jyrshintämäärien laskentaan ja sirotepintauksen (SIP) kohdistukseen pinnan karkeustiedon perusteella. Lisäksi työssä tarkasteltiin pinnan karkeuden kehitystä ennen toimenpidettä ja sen jälkeen REM-, SIP- ja takuun alaisilla päällystyskohteilla.

Valuasfalttipaikkojen pinta-alojen laskentaa varten kehitettiin yksinkertainen laskenta-algoritmi, joka hyödyntää päällysteen karkeustuloksia mitatulta kaistan leveydeltä. Valuasfaltin tunnistuksessa käytettiin ensin 10 cm MPD-tuloksissa raja-arvona 0,45 mm, jonka perusteella kyseinen pinta-ala luokiteltiin valuasfaltiksi. Jos raportointiväliä kohden oli riittävästi raja-arvon alittavia tuloksia, luokiteltiin koko jakso VA-paikaksi ja lopuksi laskettiin VA-paikkojen kokonaispinta-alat halutulle raportoitavalle osuudelle. Valuasfalttipaikkojen pinta-alojen laskenta-algoritmia testattiin ensin kahden eri päällystetyyppiä olevan tieosan avulla, minkä perusteella laskenta-algoritmi tunnisti valuasfaltin ja pinta-alojen laskenta onnistui hyvin. Haasteita laskentaan tuottivat kaistan reunassa sijaitsevat paikat, jotka eivät osu kokonaan mittausleveydelle ja kuluneemmat paikat, joiden pinnan karkeusominaisuudet ovat muuttuneet. Karkeustuloksista laskettujen VA-paikkojen sijainteja ja määriä on myös mahdollista esittää sekä tarkastella karttasovelluksen avulla.

SIP-kohteiden toimenpidesuunnitteluun karkeusaineiston perusteella kehitettiin kaksi hieman erilaista laskentatapaa, joista toista käytettiin esimerkisuunnitelmien laatimiseen SIP-testikohteille. Esimerkkisuunnitelmissa laskettiin ensin 10 cm MPD-tuloksista keskiarvot neliömetrille ja haluttu toimenpiteen laajuus kohdistettiin sitten kohteen karkeimmille neliöille. Esimerkkisuunnitelmissa MPD:n raja-arvot olivat 1,3–1,4 mm. Laadittuja toimenpidesuunnitelmia on myös mahdollista tarkastella kartalla. SIP-suunnitelmissa jouduttiin ottamaan huomioon, että päällysteiden karkeusominaisuudet vaihtelevat kohteen iän tai muiden tekijöiden takia, jolloin ei ole mahdollista löytää kaikille kohteille toimivaa yksittäistä MPD:n raja-arvoa. SIP-testikohteille tehtiin myös seuranta-mittaukset toimenpiteen jälkeen, jolloin voitiin seurata toimenpiteen vaikutusta pinnan karkeuteen samana kesänä ja ensimmäisen talven jälkeen. Molemmilla testikohteilla pinnan keskimääräinen karkeus sekä karkeiden kohtien suhteelliset osuudet pienenivät sirotepintauksen seurauksena ja toimenpiteen vaikutus pinnan karkeuteen säilyi myös ensimmäisen talven yli. Tässä työssä ei kuitenkaan päästy testaamaan SIP:n toteutusta esimerkisuunnitelmien pohjalta aikataulujen takia. Toteutusvaiheessa haasteeksi voi muodostua tarvittava paikannustarkkuus, jos SIP halutaan kohdentaa 0,5–1 m² tarkkuudella mitatun karkeusaineiston perusteella.

Karkeustiedon hyödyntämisessä REM-kohteilla tarkasteltiin myös, miten vanhan päällysteen karkeat, purkautumisalttiit tai mahdollisesti jo purkautuneet kohdat vaikuttavat REM-käsittelyn jälkeiseen uuteen päällysteeseen. Tulosten visuaalisessa tarkastelussa käytettiin ensin 10 cm MPD-tuloksia koko poikkiprofiilin leveydeltä, mutta aineiston laajuudesta johtuen päädyttiin lisäksi hyödyntämään 10 cm karkeustuloksista laskettuja tunnuslukuja. Yleisesti pintakarkeuden kehityksen tarkasteluissa ennen toimenpidettä, sen jälkeen

samana kesänä ja ensimmäisen talven jälkeen havaittiin, että mitatut karkeus-tulokset vastaavat maastokäynneillä silmämääräisesti tehtyjä havaintoja. Päällystyksen jälkeen tehdyissä mittauksissa pinnan karkeus oli keskimäärin suurempaa kuin ennen toimenpidettä, mutta jo ensimmäisen talven jälkeen pinnan karkeus saavutti lähes saman tason kuin ennen toimenpidettä. Koe-kohteiden tulosten tarkastelun perusteella vaikutti, etteivät yksittäiset karkeat tai purkautuneet kohdat vanhassa päällysteessä vaikuttaneet REM-käsittelyn jälkeiseen uuteen pintaan. Eräällä kohteella havaittiin kuitenkin uudessa päällysteessä avoimempaa pintaa jaksolla, jossa oli ennen päällystystä ollut purkaumaa, mikä tosin on vain yksi uuden päällysteen ominaisuuksiin mahdollisesti vaikuttava tekijä esimerkiksi työn aikaisten olosuhteiden lisäksi.

Päällysteen karkeustiedon hyödyntämisen tarkasteluissa selvitettiin myös, voisiko mittauksilla tuotetun karkeustiedon avulla tunnistaa ja luokitella takuu-aikana korjaustoimenpiteitä tarvitsevia kohtia. Kohteiden maastokatselmuksen kokemusten perusteella mittaamalla tuotetut päällysteen karkeustulokset olivat samansuuntaisia kuin silmämääräisesti tehdyt havainnot pinnan karkeudesta. Karkeustulosten hyödynnettävyyden kannalta on kuitenkin tarpeellista pystyä määrittämään raja-arvoja, joiden avulla voitaisiin takuuajana keskittyä seuraamaan esimerkiksi vain pinnaltaan kaikkein poikkeavimpia kohtia. Tässä projektissa tutkittujen koekohteiden perusteella 1 m MPD-arvojen raja-arvona voisi olla 1,6–1,8 mm. Kuitenkin koekohteiden määrän ollessa melko pieni ja rajoittuen vain yhteen päällystetyyppiin tarvitaan lisää kokemuksia raja-arvojen tarkempaa määrittystä varten.

Mitatun karkeustiedon hyödyntämisen etuja on myös tiedon objektiivisuus verrattuna esimerkiksi aina jossain määrin subjektiivisiin visuaalisiin havaintoihin. Lisäksi mitattu tieto voidaan tuottaa ajoneuvosta käsin muuta liikennettä häiritsemättä, mikä lisää työturvallisuutta nykyisiin menetelmiin verrattuna. Mitattujen karkeusaineistojen tarkasteluissa yhtenä haasteena oli kertyvän aineiston suuri määrä, jolloin aineistojen tarkastelu oli aikaa vievää. Työn edetessä kehitettiin tapoja hyödyntää tuloksia nopeammin, mutta jatkossa tavoitteena on edelleen löytää tunnuslukuja tai raja-arvoja, jotka kuvaavat parhaiten pinnan karkeudeltaan poikkeavia kohtia ja jotka siten parantaisivat karkeustulosten käsiteltävyyttä sekä hyödynnettävyyttä.

Lähteet

ISO 13473-1:2019. 2019. Characterization of pavement texture by use of surface profiles — Part 1: Determination of mean profile depth. Sveitsi: International Organization for Standardization. 43 s.

PANK-5212. 2019. Uuden päällysteen tasalaatuisuus, PTM-auto. PANK Päällystean neuvottelukunta. 4 s.

Virtala, P. & Alanaatu, P. 2017. SMA-päällysteen lajittumavirheiden mittaaminen. Helsinki: Liikennevirasto. 56 s. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 1/2017. ISBN 978-952-317-349-1.
https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lts_2017-01_paallysteen_lajittumavirheiden_web.pdf

Virtala, P. & Alanaatu, P. & Huuskonen-Snicker, E. 2019. Päällysteen tasalaatuisuuden mittaaminen – Purkauma ja bitumin pintaan nousu AB-päällysteellä. Helsinki: Väylävirasto. 71 s. Väyläviraston tutkimuksia 11/2019. ISBN 978-952-317-695-9.
https://julkaisut.vayla.fi/pdf12/vt_2019-11_paallysteen_tasalaatuisuuden_web.pdf



ISSN 2490-0982
ISBN 978-952-317-746-8
www.vayla.fi